

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

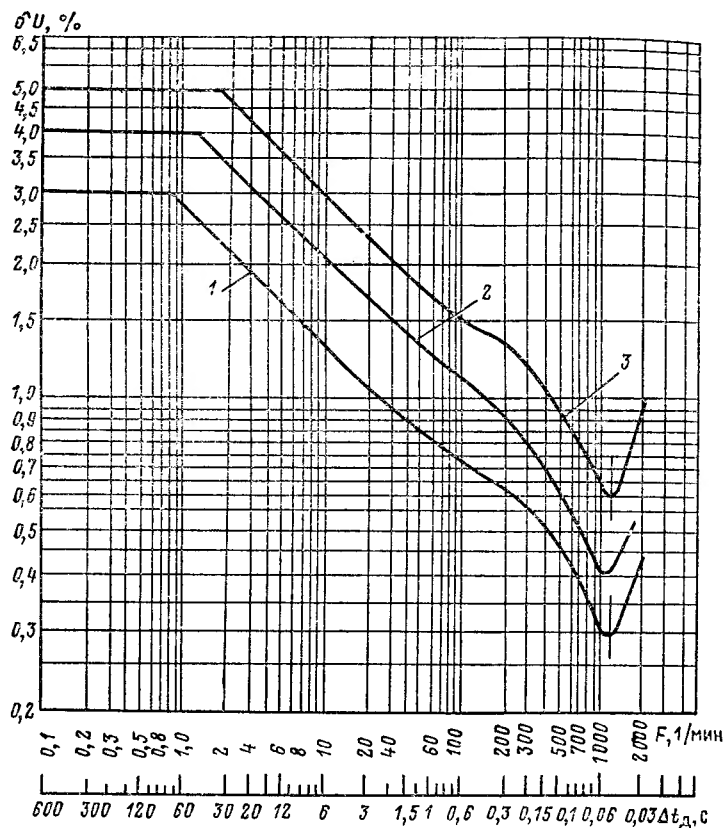


Рис. 12.1. Допустимые размахи изменений напряжения в зависимости от частоты изменений

При подключении к одной секции шин нескольких (n) лифтов число включений принимается $80n$ и $100n$ соответственно.

При проектировании электрических сетей жилых и общественных зданий возможность совмещенного питания рабочего освещения и силовых электроприемников, в первую очередь лифтов, должна быть проверена расчетом¹. Эти

¹ Сеть эвакуационного и аварийного освещения присоединяется к силовой сети независимо от значения размахов изменений напряжения.

расчетом определяется как возможность прямого пуска двигателя, так и размахи изменений напряжения на шинах вводно-распределительного устройства здания, к которому помимо силовых электроприемников может быть присоединена осветительная нагрузка.

Методический расчет дополнительной потери напряжения, ΔU , возникающей при пуске электродвигателя, основан на приближенной формуле

$$\Delta U_{\text{д}} = \sqrt{3} I_{\text{пуск}} (r \cos \varphi_{\text{п}} + x \sin \varphi_{\text{п}}), \quad (12.1)$$

где $\cos \varphi_{\text{п}}$ — коэффициент мощности электродвигателя при пуске.

Если сеть состоит из участков, сопротивления которых $\sum_1^n r$ и $\sum_1^n x$, а сопротивления питающего трансформатора $r_{\text{т}}$ и $x_{\text{т}}$, то выражение в скобках правой части уравнения (12.1), обозначаемое через A , Ом, примет вид

$$A = \left(\sum_1^n r + r_{\text{т}} \right) \cos \varphi_{\text{п}} + \left(\sum_1^n x + x_{\text{т}} \right) \sin \varphi_{\text{п}}.$$

Если принять, что пусковой ток электродвигателя, A , уменьшается практически пропорционально уменьшению напряжения на его зажимах:

$$I'_{\text{пуск}} = I_{\text{пуск}} \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{ном}}} = K_i I_{\text{ном,д}} \frac{U_{\text{д}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (12.2)$$

где $U_{\text{д}}$ — напряжение на зажимах электродвигателя при его пуске, В; K_i — кратность пускового тока (по каталогу)¹; $I_{\text{ном,д}}$ — номинальный ток электродвигателя (по каталогу), А, то формула (12.1) примет вид

$$\Delta U_{\text{д}} = \sqrt{3} K_i U_{\text{д}} I_{\text{ном,д}} A / U_{\text{ном}}. \quad (12.3)$$

Напряжение на зажимах электродвигателя $U_{\text{д}}$ будет равно разности между напряжением холостого хода питающего трансформатора и полными потерями напряжения в сети, которые, в свою очередь, складываются из потери напряжения, вызванной нагрузкой до пуска электродвига-

¹ Кратность пускового тока, принимаемая по каталогу, может быть несколько превышена за счет аperiodической слагающей тока в течение первых двух-трех полупериодов, что имеет значение при выборе уставок аппаратов защиты, особенно для электродвигателей мощностью 50 кВт и более. При расчете размахов изменения напряжения аperiodическая составляющая учитываться не должна.

теля, и дополнительной потери напряжения, вызванной пусковым током электродвигателя,

$$U_d = U_x - \Delta U_c - \Delta U_d = 1,05 U_{ном} - (\Delta U_c + \Delta U_d). \quad (12.4)$$

Нетрудно показать, что с учетом сказанного формула (12.3) после подстановок и преобразований примет вид

$$\Delta U_d = \frac{173 K_t I_{ном,д} A (1,05 U_{ном} - \Delta U_c)}{U_{ном} (U_{ном} + \sqrt{3} K_t I_{ном,д} A)}, \quad (12.5)$$

где ΔU_d выражена в процентах.

Для большинства практических случаев формулу (12.5) можно упростить, если принять, что для режима максимальной расчетной нагрузки ΔU_c составляет 0,08 $U_{ном}$. Тогда ΔU_d , %, равна

$$\Delta U_d = \frac{167 K_t I_{ном,д} A}{U_{ном} + 1,73 K_t I_{ном,д} A}. \quad (12.6)$$

Для определения A в формулах (12.5) и (12.6) нужно знать коэффициент мощности при пуске электродвигателя. Коэффициент мощности в первый момент после включения можно определять как среднее арифметическое из двух вычисленных значений по формулам (12.7) и (12.8):

$$\cos \varphi_n = \cos \varphi_{ном} \left[\frac{m_n}{(1 - s_{ном}) K_t} + \frac{1}{3} K_t (1 - \eta_{ном}) \right]; \quad (12.7)$$

$$\cos \varphi_n = \frac{\eta_{ном} \cos \varphi_{ном} (m_n + 0,025 K_t^2)}{(1 - s_{ном}) K_t}, \quad (12.8)$$

где $m_n = M_{пуск}/M_{ном}$ — кратность пускового (начального) момента электродвигателя (по каталогу); $s_{ном}$ — номинальное скольжение; $\eta_{ном}$ — КПД при номинальной нагрузке электродвигателя, отн. ед.

Возможность прямого пуска короткозамкнутого электродвигателя определяется из условия

$$U_{д*}^2 m_n \geq 1,1 m_{мех} K_3, \quad (12.9)$$

где $U_{д*}$ — напряжение на зажимах электродвигателя в долях номинального напряжения; $m_{мех} = M_{мех}/M_{ном}$ — требуемая кратность начального момента приводимого механизма; K_3 — коэффициент загрузки электродвигателя; 1,1 — коэффициент запаса.

При определении значений кратности начальных момен-

тов $m_{мех}$ некоторых механизмов можно руководствоваться следующими данными:

Вентиляторы	0,4—0,5
Компрессоры центробежные и поршневые	0,4
Насосы центробежные и поршневые	0,4
Лифты пассажирские и грузовые	1,7—1,8
Станки металлообрабатывающие (токарные, строгальные, фрезерные)	0,3

Устойчивая работа отдельных включенных электродвигателей не будет нарушена при пуске еще одного электродвигателя, если максимальные их моменты будут больше моментов сопротивления приводимых механизмов. В этом случае

$$U_{д*}^2 m_{max} \geq 1,1 K_3, \quad (12.10)$$

где $m_{max} = M_{max}/M_{ном}$ — кратность максимального момента электродвигателя (по каталогу).

Устойчивость работы пусковых аппаратов электродвигателей, работающих от рассматриваемой сети, не нарушается, так как магнитные пускатели и контакторы не отключаются при снижении напряжения на их зажимах до 60—65 % номинального. В связи с этим в большинстве случаев проверка нормальной работы пусковой аппаратуры остальных электродвигателей не требуется.

Расчетом снижения напряжения на зажимах электродвигателя при его пуске определяется также и размах изменений напряжения на шинах ВРУ, к которому может быть присоединена осветительная нагрузка. Наиболее серьезным случаем, требующим обязательной проверки на колебание напряжения, является пуск лифта. Здесь следует иметь в виду, что помимо собственного электродвигателя лифта, создающего пусковой ток в момент включения, существенную роль играет электромагнитный тормоз, включение которого в сеть (одновременно с электродвигателем) вызывает дополнительный пусковой ток тормоза. Расчеты, выполненные для различных схем зданий, показали, что дополнительное снижение напряжения, вызванное включением электромагнитного тормоза, составляет 0,3—0,5 %. В практических расчетах это дополнительное снижение напряжения может приниматься равным 0,4 %.

Нужно иметь в виду, что в любых случаях не следует допускать снижения напряжения более чем на 15 % ($U_{д*} \geq$

$\geq 0,85$), поскольку при этом может не включиться пусковая аппаратура и не сработает электромагнитный тормоз.

Дополнительное снижение напряжения, вызванное включением тормоза, можно не учитывать при проверке возможности пуска электродвигателя лифта. Дело в том, что тормоз обычно подключен параллельно обмоткам электродвигателя, поэтому напряжение на обмотку тормоза подается через основные контакты контактора одновременно с включением электродвигателя. Как только якорь тормоза начинает втягиваться, ток в его обмотке быстро снижается, и лишь после освобождения заторможенной лебедки становится возможным пуск электродвигателя. Следовательно, наличие электромагнитного тормоза лишь несколько увеличивает время пуска электродвигателя, что должно учитываться при расчете электропривода и выборе мощности и типа электродвигателя. Вместе с тем пусковой ток тормоза, накладываясь на пусковой ток электродвигателя, ухудшает режим работы электроосвещения, ввиду чего этот ток необходимо учитывать при определении размахов изменений напряжения в осветительной сети при пуске лифта.

Аналогичную методику расчета можно использовать для определения размахов изменений напряжения в линиях, к которым подключены рентгеновские аппараты, ток которых в режиме фотографирования достигает большого значения, однако длительность процесса не превышает 0,1—0,2 с. Правильный выбор параметров сети и обеспечение необходимого уровня напряжения (0,85—0,9 $U_{ном}$) имеют важное значение для получения высококачественных рентгеновских снимков.

Пример 12.1. Определить возможность пуска электродвигателя лифта мощностью 4,5 кВт серии АСМ 52-6, включенного в сеть по схеме рис. 12.2 в точке г. Определить допустимость присоединения к шинам

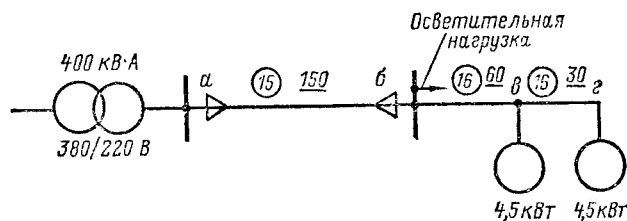


Рис. 12.2. Схема к примеру 12.1. Подчеркнутые цифры указывают данные, м; цифры в кружках — сечения жил кабелей и проводов, мм²

ВРУ осветительной нагрузки. Выяснить влияние пуска электродвигателя на работу другого электродвигателя лифта. Дом двухсекционный. Общее число лифтов — четыре.

Решение. 1. Определяем параметры сети, руководствуясь каталожными данными:

$$r_T = 5,7 \text{ мОм}; \quad x_T = 17,2 \text{ мОм};$$

$$r_{ab} = 0,34 \cdot 0,15 = 49,5 \text{ мОм}; \quad x_{ab} = 0,06 \cdot 0,15 = 9 \text{ мОм};$$

$$r_{bg} = 1,98 \cdot 0,06 = 119 \text{ мОм}; \quad x_{bg} = 0,09 \cdot 0,06 = 5,4 \text{ мОм};$$

$$r_{gd} = 1,98 \cdot 0,03 = 59,5 \text{ мОм}; \quad x_{gd} = 0,09 \cdot 0,03 = 2,7 \text{ мОм}.$$

2. По каталогу принимаем параметры электродвигателей: $I_{ном,д} = 12 \text{ А}$; $K_t = 4,5$; $m_n = 2,2$; $m_{max} = 2,3$.

3. Определяем коэффициент мощности при пуске двигателя по формулам (12.7) и (12.8):

$$\cos \varphi_n = 0,52.$$

4. Определяем значение A для точки б:

$$A_b = [(49,5 + 5,7) 0,52 + (9 + 17,2) 0,85] 10^{-3} = 0,051 \text{ Ом}.$$

5. Определяем значение A для точки в:

$$A_g = [(49,5 + 5,7 + 119) 0,52 + (9 + 17,2 + 5,4) \cdot 0,85] 10^{-3} = 0,12 \text{ Ом}.$$

6. Определяем значение A для точки г:

$$A_r = [(49,5 + 5,7 + 119 + 59,5) 0,52 + (9 + 17,2 + 5,4 + 2,7) 0,85] 10^{-3} = 0,15 \text{ Ом}.$$

7. Определяем дополнительную потерю напряжения при пуске электродвигателя в точках б, в, г по формуле (12.6):

$$\Delta U_{db} = \frac{167 \cdot 4,5 \cdot 12 \cdot 0,051}{380 + 1,73 \cdot 4,5 \cdot 12 \cdot 0,051} = 1,19\%;$$

$$\Delta U_{dv} = \frac{167 \cdot 4,5 \cdot 12 \cdot 0,12}{380 + 1,73 \cdot 4,5 \cdot 12 \cdot 0,12} = 2,76\%;$$

$$\Delta U_{dg} = \frac{167 \cdot 4,5 \cdot 12 \cdot 0,15}{380 + 1,73 \cdot 4,5 \cdot 12 \cdot 0,15} = 3,42\%.$$

8. Определяем по формуле (12.4) напряжение на зажимах электродвигателя при его пуске (полная потеря напряжения в сети принимается равной 8 %) в долях номинального напряжения:

$$U_{др*} = 1,05 - (0,08 + 0,034) \approx 0,94.$$

9. Проверяем возможность пуска электродвигателя по формуле (12.9), принимая коэффициент загрузки равным единице:

$$0,94^2 \cdot 2,2 \geq 1,1 \cdot 1,7 \cdot 1. \text{ т. е. } 1,94 \geq 1,87.$$

Расчет показывает, что прямой пуск двигателя обеспечивается.

10. Напряжение на зажимах работающего двигателя (точка в)

$$U_{дв}^* = 1,05 - (0,08 + 0,028) = 0,95.$$

11. Проверяем условия нормальной работы двигателя второго лифта, руководствуясь формулой (12.10):

$$0,95^2 \cdot 2,3 \geq 1,1 \cdot 1; \quad 2,07 > 1,1,$$

и убеждаемся в том, что второй двигатель будет продолжать работать.

12. Определяем снижение напряжения на вводном устройстве в точке б при пуске двигателя лифта. Полное снижение напряжения в точке б складывается из снижения напряжения при пуске двигателя и потери напряжения при включении электромагнитного тормоза:

$$\Delta U_{бс} = 1,19 + 0, = 1,59\%$$

В рассматриваемом двухсекционном доме установлено четыре лифта. При числе включений каждого лифта до 80 в час общее число включений лифтовых установок в час составит 320. Из кривой 2 рис. 12.1 видно, что допустимое снижение напряжения составляет примерно 23 %. Таким образом, присоединение осветительной нагрузки к силовому вводу в данном случае допустимо.

Глава тринадцатая

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭНЕРГИИ

13.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В НЕРАЗВЕТВЛЕННОЙ СЕТИ

Передача электроэнергии неизбежно сопровождается потерями мощности и энергии в трансформаторах и линиях. Указанные потери достигают 12—15 % всей выработанной энергии и покрываются за счет увеличения мощности источников питания и пропускной способности всех элементов сети, т. е. за счет повышения капиталовложений. Кроме того, потери энергии влекут за собой перерасход топлива на электростанциях энергосистем, что особенно актуально в современных условиях.

Потери мощности и энергии обязательно учитываются при технико-экономическом сопоставлении различных вариантов схем электроснабжения. О них необходимо помнить при выборе наиболее выгодного режима эксплуатации электроустановок. До последнего времени этим вопросам не уделялось должного внимания при проектировании внутренних

сетей, хотя даже оплачиваемые потребителем потери электроэнергии в этих сетях все равно требуют расхода остродефицитного топлива. Ниже излагается кратко методика расчета потерь мощности и энергии в основных элементах электрических сетей.

Общие потери активной мощности в трансформаторе кВт, определяются из выражения

$$\Delta P_{\tau} = \Delta P_{ст} + \Delta P_{м} \beta^2, \quad (13.1)$$

где $\Delta P_{ст} = \Delta P_{х}$ — потери активной мощности в стали (холостого хода) трансформатора при номинальном напряжении, кВт; $\Delta P_{м} = \Delta P_{к}$ — потери активной мощности в меди (короткого замыкания) при номинальной нагрузке трансформатора, кВт; $\beta = S/S_{ном,т}$ — отношение действительной нагрузки к номинальной мощности трансформатора (коэффициент загрузки трансформатора).

Потери реактивной мощности в трансформаторе состоят из потерь на намагничивание (они практически не зависят от нагрузки) и потерь, обусловленных потоками рассеяния, которые находятся в зависимости от нагрузки трансформатора.

Указанные потери, квар, определяются из выражения

$$\Delta Q_{\tau} = \Delta Q_{х} + \Delta Q_{к} \beta^2. \quad (13.2)$$

Значения $\Delta P_{ст} = \Delta P_{х}$ и $\Delta P_{м} = \Delta P_{к}$ приводятся в каталогах на трансформаторы, $\Delta Q_{х}$ и $\Delta Q_{к}$, квар, определяются по каталожным данным:

$$\Delta Q_{х} = \sqrt{\left(\frac{I_{х} S_{ном}}{100}\right)^2 - \Delta P_{ст}^2} \approx I_{х} S_{ном} / 100; \quad (13.3)$$

$$\Delta Q_{к} = 3I_{ном,т}^2 x_{т} \cdot 10^{-3} \approx \frac{u_{к} S_{ном,т}}{100}, \quad (13.4)$$

где $u_{к}$ — напряжение короткого замыкания трансформатора (по каталогу), %; $I_{х}$ — ток холостого хода трансформатора, %; $x_{т}$ — индуктивное сопротивление трансформатора, Ом.

Потери активной мощности в линиях трехфазной электрической сети с равномерной нагрузкой фаз, кВт, равны

$$\Delta P_{л} = 3I_{max}^2 r_{л} \cdot 10^{-3} \quad (13.5)$$

и соответственно реактивной мощности, квар

$$\Delta Q_{л} = 3I_{max}^2 x_{л} \cdot 10^{-3}. \quad (13.6)$$

Иногда потери мощности в линии переменного тока выражают в процентах расчетной мощности

$$\Delta P'_л = \frac{\Delta P_л \cdot 100}{P_{max}} \quad (13.7)$$

Если реактивная составляющая потери напряжения мала и ею можно пренебречь, то можно установить связь между потерями напряжения, %, и мощности, %. Действительно, в данном случае для трехфазной сети

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} I_{max}^2 \cos \varphi}{U_{ном}} 100;$$

$$\Delta P'_л = \frac{3 I_{max}^2 r_л}{P_{max}} 10 \quad (13.8)$$

Тогда

$$\Delta P'_л = \frac{\Delta U}{\cos^2 \varphi} \quad (13.9)$$

Переходя к расчету потерь энергии, необходимо ввести понятие о *времени наибольших потерь*. Это есть условное время, в течение которого при передаче электрической энергии с максимальной нагрузкой I_{max} потери энергии были бы такими же, какие имеют место при работе по действительному переменному графику нагрузки.

Время наибольших потерь τ можно определять из кривых зависимости этого времени от годовой продолжительности использования максимума нагрузки I_{max} , о котором уже говорилось в других главах, и коэффициента мощности данного участка сети (рис. 13.1)¹.

Потери активной энергии в трансформаторах определяются как сумма произведений потерь мощности, не зависящих от нагрузки, на полное время работы трансформатора t в часах и потерь мощности, зависящих от нагрузки, на время наибольших потерь. Таким образом, годовые потери активной энергии в трансформаторе, кВт·ч, будут равны

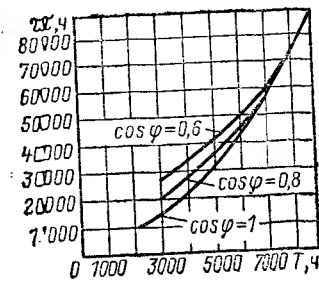
$$\Delta W_{a,\tau} = \Delta P_{ст} t + \Delta P_m \beta^2 \tau \quad (13.9)$$

Потери реактивной энергии, квар·ч, в трансформаторе

$$\Delta W_{p,\tau} = \frac{I_x S_{ном,т}}{100} t + \frac{u_R S_{ном,т} \beta^2 \tau}{100} \quad (13.10)$$

¹ Как упоминалось в гл. 3, T_{max} имеет различные значения на разных участках сети. Поэтому потери энергии определяются для каждого участка сети отдельно, а затем суммируются.

Рис. 13.1. Зависимость времени наибольших потерь от продолжительности использования максимума нагрузки



и соответственно в линиях

$$\Delta W_{a,л} = 3 I_{max}^2 r_л \tau \cdot 10^{-3}; \quad (13.11)$$

$$\Delta W_{p,л} = 3 I_{max}^2 x_л \tau \cdot 10^{-3}. \quad (13.12)$$

При определении τ по кривым рис. 13.1 не учитываются изменения коэффициента мощности в течение года и форма годового графика нагрузок. Если известен годовой расход не только активной, но и реактивной энергии, то число часов использования максимума нагрузки, а следовательно, и τ определяется более точно.

1. Определяется годовое число часов использования максимума активной и реактивной нагрузки:

$$T_{maxa} = W_a / P_{max}; \quad (13.13)$$

$$T_{maxp} = W_p / Q_{max}. \quad (13.14)$$

2. Полное число часов использования максимума

$$T_{max} = \sqrt{T_{maxa}^2 \cos^2 \varphi_{max} + T_{maxp}^2 \sin^2 \varphi_{max}}; \quad (13.15)$$

$$\cos \varphi_{max} = P_{max} / \sqrt{P_{max}^2 + Q_{max}^2};$$

$$\sin \varphi_{max} = Q_{max} / \sqrt{P_{max}^2 + Q_{max}^2}.$$

3. Время потерь определяется из выражения

$$\tau = (0,124 + T_{max} \cdot 10^{-4})^2 \cdot 8760. \quad (13.16)$$

Годовое число часов использования расчетного максимума нагрузки можно принимать по табл. 13.1.

Таблица 13.1. Годовое число часов использования расчетного максимума нагрузки

Потребитель	Нагрузка		
	общая	силовая	средняя
Предприятия общественного питания:			
столовые	—	1500—3000	1600—2400
рестораны	3300—4700	3800—5000	3000—4000
Продовольственные магазины	—	2000—3000	1700—2300
Промтоварные магазины (с кондиционированием)	4100—4200	—	—
Корпуса больниц:			
лечебные	2200—3200	—	—
хирургические	3300—3800	—	—
Поликлиники	1900—2200	—	—
Аптеки	1300—1600	—	—
Гостиницы ¹ :			
без ресторанов	3300—5000	2500—4500	3800—4000
с ресторанами	4800—5000	4200—4500	3800—4300
Административные здания (с кондиционированием)	2500—3500	4400—6400	1100—1200
Предприятия бытового обслуживания:			
комбинаты	2300	—	—
фотографии	3400	—	—
ателье	—	1300	3900
Школы одноэтажные:			
без пищеблока	500—700	1300—1500	300—400
с пищеблоком	800	—	—
Школы двухэтажные без пищеблока	—	1300—2300	1700—2000

¹ Большие значения относятся к гостиницам с кондиционированием воздуха, меньшие — без кондиционирования.

13.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАЗВЕТВЛЕННОЙ СЕТИ ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Определение потерь мощности и электроэнергии в линии с сосредоточенной нагрузкой в конце линии не вызывает трудностей. Однако расчеты значительно усложняются для разветвленных вертикальных участков (стояков) линий питающих электроприемники квартир, поскольку на каждом участке изменяются практически все расчетные величины — удельные мощности, годовое число часов использования максимума нагрузки и время наибольших потерь.

Ниже излагается методика таких расчетов, дающая результаты вполне пригодные для проектной практики.

Для этой цели может быть использовано выражение (13.8), устанавливающее связь между потерей мощности $\Delta P_{уч}$, %, и потерей напряжения $\Delta U_{уч}$, %, на любом участке линии:

$$\Delta P_{уч} = \Delta U_{уч} / \cos^2 \varphi.$$

Введем понятие коэффициента одновременности, представляющего собой отношение удельной мощности при любом числе присоединенных квартир к удельной мощности на вводе в одну квартиру:

$$K_o = P_{уд} / P_{уд1}. \quad (13.17)$$

Значения $P_{уд}$ принимаются согласно табл. 3.1. Наибольшая нагрузка $P_{махуч}$, кВт, на любом участке питающей линии может быть определена по формуле

$$P_{махуч} = K_{o,уч} P_{уд1} n_{уч}, \quad (13.18)$$

где $n_{уч}$ — количество квартир, присоединенных к участку линии.

Потеря мощности на участке линии, кВт

$$\Delta P_{уч} = \Delta P'_{уч} P_{уч} / 100 \quad (13.19)$$

Как известно, потеря напряжения, %, на любом участке линии может быть выражена формулой

$$\Delta U_{уч} = P_{уч} l_{уч} / C s_{уч}$$

или

$$\Delta U_{уч} = K_{o,уч} P_{уд1} n_{уч} l_{уч} / C s_{уч}, \quad (13.20)$$

где $l_{уч}$ — длина участка, м (равна высоте этажа); C — коэффициент, зависящий от схемы, напряжения сети и материала проводов; $s_{уч}$ — сечение линии, мм².

Из (13.19) и (13.20) получаем потерю мощности, кВт:

$$\Delta P_{уч} = \frac{K_{o,уч}^2 P_{уд1}^2 n_{уч}^2 l_{уч}}{100 C s_{уч} \cos^2 \varphi}. \quad (13.21)$$

Потеря мощности в линии при количестве участков z определяется как сумма потерь на участках.

Если сечения и длины участков одинаковы, что имеет место в стояках жилых зданий, то потеря мощности в линии будет равна

$$\Delta P_{\Sigma ст} = \frac{P_{уд1}^2 l_{уч}}{100 C s_{уч} \cos^2 \varphi} \sum_{i=1}^{i=z} K_{o,уч} n_{учi}^2. \quad (13.22)$$

Обычно от ВРУ до стояка длина горизонтального участка питающей линии L_n значительно больше, чем высота этажа, поэтому (13.22) для всей линии будет иметь вид

$$\Delta P_{\Sigma l} = \frac{P_{уд1}^2}{100 C_{сч} \cos^2 \varphi} (K_{0,n}^2 n_n^2 L_n + l_{уч} \sum_{i=1}^{i=z} K_{0,уч,i}^2 n_{учi}^2), \quad (13.23)$$

где $K_{0,n}$ — коэффициент одновременности для участка питающей линии от ВРУ до стояка; n_n — количество присоединенных квартир для участка линии от ВРУ до стояка; $K_{0,учi}$ — коэффициент одновременности i -го участка; $n_{учi}$ — количество квартир, присоединенных к i -му участку; z — общее число участков, присоединенных к стояку.

Для получения значений потерь электроэнергии ΔW , кВт·ч/год, достаточно умножить потерю мощности на соответствующее количество часов наибольших потерь (соответственно τ_n и $\tau_{уч}$):

$$\Delta W = \frac{P_{уд1}^2}{100 C_{сч} \cos^2 \varphi} (K_{0,n}^2 n_n^2 L_n \tau_n + l_{уч} \sum_{i=1}^{i=z} K_{0,учi}^2 n_{учi}^2 \tau_{учi}). \quad (13.24)$$

В табл. 13.2 приведены расчетные данные, которые мож-

Таблица 13.2. Расчетные данные

Количество квартир	Удельная мощность $P_{уд1}$, кВт/квартиру	Коэффициент одновременности K_0	Годовое число часов использования максимума T_{max}	Годовое число часов потерь τ	Значения $K_0^2 n_{уч} \tau$
3	4,5/7	1/1	850/800	365/364	3285/3276
6	2,3/4	0,51/0,51	1150/1070	498/465	4760/4185
9	1,75/3	0,39/0,42	1180/1250	500/512	6100/7024
12	1,45/2,5	0,32/0,35	1270/1400	548/615	8055/10 600
15	1,3/2,15	0,29/0,3	1340/1525	582/670	11 000/13 568
18	1,15/2	0,26/0,29	1440/1630	630/720	13 290/21 024
24	1/1,8	0,22/0,26	1500/1795	658/805	18 950/31 145
40	0,8/1,5	0,18/0,21	1640/2120	725/985	35 960/67 768
60	0,7/1,3	0,16/0,2	1750/2405	788/1168	68 083/168 192
100	0,6/1,15	0,13/0,16	1870/2750	841/1370	151 380/356 200
200	0,5/1	0,11/0,14	2020/3260	928/1770	445 440/1 345 200
400	0,45/0,9	0,1/0,13	2150/3740	980/2180	1 568 000/3 020 800
600	0,43/0,85	0,1/0,12	2200/4000	1036/2400	3 356 640 12 900 000
1000	0,4/0,8	0,09/0,11	2350/4300	1120/2670	8 960 000/2 670 000

Примечание. В числителе приведены данные для жилых домов с плитами на природном газе, в знаменателе — с электрическими плитами.

но использовать при проектировании. Данные для промежуточных значений количества квартир определяются интерполяцией. Значения τ_{max} и $\tau_{учi}$ определены из (13.15), (13.16).

Пример 13.1. Определить ΔW в питающей линии жилого шестнадцатиэтажного дома, в квартирах которого установлены электрические плиты мощностью 8 кВт ($P_{уд1}=1$ кВт). Высота этажа $l_{уч}=3$ м. Расстояние от ВРУ до начала стояка $L_n=50$ м, на каждом этаже расположено по четыре квартиры. Питающая четырехпроводная линия выполнена проводом марки АПВ 3(1×50)+1×25 мм². Напряжение сети 380/220 В; $\cos \varphi=0,98$. Схема сети приведена на рис. 13.2.

Решение. 1. Пользуясь табл. 13.2, составляем перечень данных для каждого участка линии (табл. 13.3).

Таблица 13.3. Расчетные данные к примеру 13.1

Число квартир $n_{уч}$	Значение $K_{0,уч}^2 n_{уч}^2 \tau_{уч}$	Число квартир $n_{уч}$	Значение $K_{0,уч}^2 n_{уч}^2 \tau_{уч}$
4	3576	36	55 500
8	6100	40	67 768
12	10 000	44	83 500
16	16 000	48	102 000
20	25 000	52	120 000
24	31 145	56	142 000
28	39 000	60	168 192
32	47 500		
		Итого стояк	917 891
		$n_n=64$ (горизонтальный участок)	184 700

2. На основании (13.24) потери электроэнергии за год составляют 2661 кВт·ч.

3. Оценим долю потери электроэнергии в ее общем годовом расходе. Она может быть определена как произведение максимальной мощности на число часов использования максимума на основании табл. 13.2 (по данным, полученным интерполяцией):

$$W = P_{max} T_{max} = 189 104 \text{ кВт}.$$

Отсюда

$$\Delta W = \frac{2661 \cdot 100}{189 104} = 1,4\%.$$

В заключение отметим, что использование приведенных

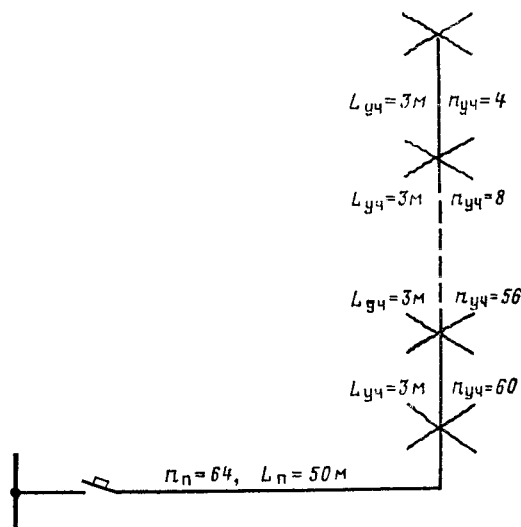


Рис. 13.2. Схема к примеру 13.1

в табл. 13.2 данных позволяет определить потерю электроэнергии при любом количестве стояков и любых схемах питающих линий квартирной сети. Вместе с тем надо иметь в виду, что действительные потери электроэнергии в сетях могут отличаться от расчетных довольно значительно. Это объясняется прежде всего несовершенством учета и недостаточным уровнем эксплуатации всех элементов сети и некоторыми другими причинами.

Для оценки возможного распределения потерь можно пользоваться следующими данными (для города с населением 500 000 чел.):

Элементы городской электрической сети	Потери электроэнергии, процент общей суммы потерь
Питающие линии 6(10) кВ	13,7
Распределительные линии 6(10) кВ	14,7
Трансформаторы 6(10)/0,4 кВ	46
В том числе:	
постоянные потери	40,4
переменные потери	5
Сети 0,38, 0,22 кВ	25,6
Итого	100

13.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Представляет интерес методика определения потерь мощности и электроэнергии в разветвленной сети освещения общественных зданий.

На рис. 13.3 представлена схема такой разветвленной линии в общественном здании. Для указанной схемы потери мощности составляют

$$\Delta P = 3r_1 I_1^2 + 3r \sum_{i=1}^n I_i^2 = 3I_1^2 r_0 \left(l_1 + \frac{l \sum_{i=1}^n I_i^2}{I_1^2} \right),$$

где r_0 — сопротивление 1 км участка цепи, Ом/км.

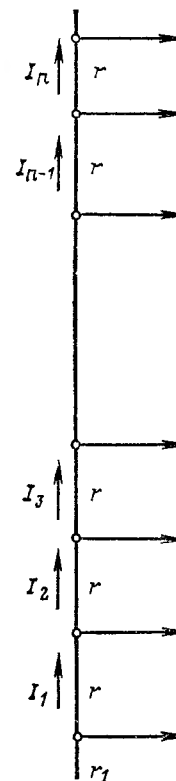


Рис. 13.3. Схема стояка питающей сети многоэтажного здания:

I_n — ток n -го участка линии;
 r — активное сопротивление участка сети между этажами длиной l ; r_1 — активное сопротивление участка сети от группового распределительного щитка до стояка длиной l_1

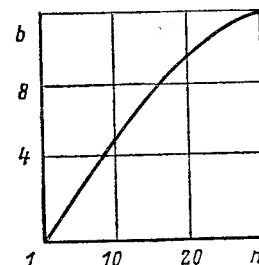


Рис. 13.4. Зависимость коэффициента от числа участков питающей сети

$$\frac{l \sum_{i=1}^n I_i^2}{I_1^2} = \frac{l}{b} = l_{\text{прив}},$$

где $l_{\text{прив}}$ — приведенная длина, км, и учитывая, что $l = I_{\text{расч}}$, где $I_{\text{расч}}$ — расчетный ток стояка, А, получим

$$\Delta P = 3I_{\text{расч}}^2 r_0 (l_1 + l_{\text{прив}}) 10^{-3}. \quad (13.25)$$

Если нагрузки групповых щитков равны между собой, что фактически и имеет место в сетях электрического освещения общественных зданий, можно для определения потерь мощности воспользоваться кривой зависимости (рис. 13.4) коэффициента b от числа участков n питающей сети, причем за длину участка принимается расстояние между соседними щитками. Далее, пользуясь приведенными ранее формулами, можно легко рассчитать потери электроэнергии в разветвленной сети. Ошибка при этом не превышает 3—4 %.

Глава четырнадцатая

ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ ПО МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ

Наряду с требуемыми техническими характеристиками электрических сетей важно обеспечить необходимую прочность и долговечность электропроводок.

Механическая прочность проводов и кабелей существенно зависит от условий прокладки, усилий, которым подвергаются провода и кабели в процессе монтажа, а в дальнейшем при эксплуатации (например, при подключении переносных электроприемников) — от окружающей среды, в которой проложены провода, и, конечно, от механических свойств материалов проводников. Отметим, что медные проводники значительно прочнее, чем алюминиевые, особенно в отношении количества перегибов, которые неизбежны при проведении монтажных работ. Однако они дефицитны, и их использование строго ограничено.

Естественно, что для переносных электроприемников тре-

Таблица 14.1. Наименьшие сечения проводников по механической прочности

Проводники	Сечение, мм ²	
	медных	алюминиевых
Шнуры для присоединения бытовых электроприемников	0,35	—
Кабели для присоединения переносных и передвижных электроприемников в промышленных установках	0,75	—
Скрученные двухжильные провода с многопроволочными жилами для стационарной прокладки на роликах	1	—
Незащищенные изолированные провода для стационарной прокладки внутри помещений:		
а) непосредственно по основаниям, на роликах, клицах и тросах	1	2,5
б) на лотках, в коробах (кроме глухих):		
для жил, присоединяемых к винтовым зажимам	1	2
для жил, присоединяемых пайкой:		
однопроволочных	0,5	—
многопроволочных (гибких)	0,35	—
в) на изоляторах	1,5	4
Незащищенные изолированные провода в наружных электропроводах:		
а) по стенам, конструкциям или опорам на изоляторах; вводы от воздушной линии	2,5	4
б) под навесами на роликах	1,5	2,5
Кабели и защищенные изолированные провода для стационарной прокладки (без труб, рукавов и глухих коробов):		
для жил, присоединяемых к винтовым зажимам	1	2
для жил, присоединяемых пайкой, однопроволочных	0,5	—
то же многопроволочных (гибких)	0,35	—
Незащищенные и защищенные изолированные провода для стационарной прокладки в трубах, металлических рукавах и глухих коробах	1	2
Защищенные и незащищенные провода и кабели в замкнутых каналах или монолитных в строительных конструкциях или под штукатуркой	1	2
Групповые линии квартирной сети	—	2
Вводы в квартиры к расчетным счетчикам	—	4

буются, как правило, провода и шнуры с гибкими медными жилами. Механическая стойкость проводов имеет важное значение и для обеспечения пожарной и электробезопасности.

Проводники должны быть достаточно стойкими и при КЗ, когда вследствие резкого повышения токов они (во всяком случае за время до отключения аварийного участка) испытывают значительные динамические воздействия.

Правила устройства электроустановок разрешают не производить механических расчетов проводов в сетях до 1 кВ (за исключением воздушных сетей и тросов) при соблюдении наименьших сечений токопроводящих жил, указанных в табл. 14.1. Выполнение этих требований является обязательным для всех видов электропроводок.

Глава пятнадцатая

УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

15.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И РАСЧЕТ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

При коротких замыканиях возникают значительные механические силы в токоведущих частях электрических аппаратов, шин, изоляторов. Последствием этих механических сил могут быть разрушения аппаратов и конструкций РУ. Кроме того, токи КЗ вызывают дополнительный нагрев токоведущих частей электрических аппаратов, шин РУ и жил кабелей, что может привести к выходу их из строя из-за опасного повышения температуры. Нередко КЗ становятся причиной пожара и порчи имущества.

Процессы, возникающие при КЗ, их физическая сущность и методы расчета изучены достаточно глубоко и рассмотрены в специальной литературе. В настоящей главе даются самые общие положения, имеющие актуальное значение лишь для сетей до 1 кВ, типичных для электрооборудования жилых и общественных зданий.

Остановимся на некоторых основных понятиях и определениях, а также параметрах, необходимых для расчетов.

Коротким замыканием называется непосредственное соединение между любыми точками разных фаз или

фазы с землей и нулевым проводом электрической цепи, которое не предусмотрено нормальными условиями работы установки. Ток КЗ зависит от мощности источника питания, электрической удаленности места КЗ от него, т. е. от сопротивления цепи КЗ, от вида КЗ (трехфазного, двухфазного, однофазного, однофазного и двухфазного на землю), а также момента возникновения КЗ и длительности его действия. Относительная вероятность различных видов КЗ, по статистическим данным, характеризуется следующими показателями: трехфазное — 5, двухфазное — 30 и однофазное — 65 %. Приведенные данные относятся к внешним электрическим сетям и системам, однако можно полагать, что приведенные цифры действительны с известной долей приближения и для внутренних сетей.

Мгновенное значение полного тока КЗ i_k , А, можно разложить на две составляющие: периодическую i_p и аperiodическую i_a :

$$i_k = i_p + i_a.$$

Наибольшего значения ток КЗ достигает в том случае, когда КЗ возникает при прохождении тока предшествующего режима (тока нагрузки) через нуль; при этом периодический ток имеет амплитудное значение, А

$$i_{p0} = -i_{a0}.$$

Максимальным, мгновенным током называется наибольшее мгновенное значение тока КЗ. Этого значения ток КЗ достигает по истечении первого полупериода с момента возникновения КЗ, т. е. через 0,01 с.

Отношение максимального мгновенного тока КЗ $i_{m,m}$ к амплитуде периодической составляющей тока КЗ I_{max} называется ударным коэффициентом максимального мгновенного тока:

$$k_{m,m} = i_{m,m}/I_{max}. \quad (15.1)$$

Аperiodическая составляющая тока КЗ, А, изменяется по закону

$$i_a = i_{a0} e^{-t/T_a} = I_{max} e^{-t/T_a}, \quad (15.2)$$

где $T_a = x/(314 r)$ — постоянная времени затухания, с; t — время, с; r — активное сопротивление цепи КЗ, Ом; x — индуктивное сопротивление цепи КЗ, Ом.

Аperiodическая составляющая (иногда ее называют свободным током) затухает быстро и практически исчезает через 0,15 с.

В результате процессов, происходящих в генераторах электрических станций при КЗ, периодическая составляющая тока КЗ тоже затухает и через некоторое время достигает своего установившегося значения. Начальное значение периодической составляющей называют сверхпереходным током I'' . При достаточно большом удалении места КЗ от генерирующего источника, что характерно для сетей жилых и общественных зданий, влияние затухания периодической составляющей незначительно и может в расчетах не учитываться. Ударный ток КЗ, А, может быть выражен следующим образом:

$$i_{м.м} = I_{пт.тх} + I_{a(0,01)} = \sqrt{2} I_n + \sqrt{2} I_n e^{-0,01 T_a}, \quad (15.3)$$

где I_n — действующее значение периодической составляющей тока КЗ, А.

Коэффициент максимального мгновенного тока,

$$k_{м.м} = 1 + e^{-0,01 T_a}. \quad (15.4)$$

Согласно сказанному выше получаем значение ударного тока

$$i_{м.м} = \sqrt{2} k_{м.м} I''. \quad (15.5)$$

При выборе аппаратов иногда требуется знать наибольшее действующее значение тока КЗ. Оно определяется по приближенной формуле, А:

$$I_d = I'' \sqrt{1 + 2(k_{м.м} - 1)^2}. \quad (15.6)$$

15.2. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В УСТАНОВКАХ ДО 1 кВ

Характерной особенностью расчета токов в сетях до 1 кВ является необходимость учета активных сопротивлений элементов цепи КЗ, которые в кабельных и внутридомовых сетях, выполняемых проводами в трубах и каналах строительных конструкций, значительно превышают индуктивные сопротивления. Существенное влияние на суммарное сопротивление цепи в таких сетях оказывают сопротивления контактов коммутационных аппаратов, максимальных расцепителей автоматических выключателей, обмоток трансформаторов тока, а также переходные сопротивления контактных соединений и дуги, возникающей в месте КЗ. Все активные сопротивления шин, проводов, кабелей при КЗ увеличиваются из-за повышенного нагрева при КЗ.

В расчетах следует также учитывать сопротивления обмоток силовых трансформаторов мощностью до 1000 кВ·А, так как они соизмеримы с сопротивлениями короткозамкнутой цепи. Таким образом, при расчетах токов КЗ в сетях до 1 кВ недопустимо учитывать только индуктивные сопротивления, как это принято при расчетах токов КЗ в сетях выше 1 кВ.

В большинстве случаев расчет токов КЗ может выполняться без учета затухания его периодической составляющей. Практически при мощности системы, превышающей номинальную мощность питающего трансформатора в 50 раз, ток КЗ можно считать незатухающим, как для системы бесконечной мощности.

Поскольку активное сопротивление цепи КЗ обычно значительно превышает индуктивное ($r \gg x$), аperiodическая составляющая тока КЗ затухает весьма быстро, коэффициент максимального мгновенного тока при КЗ во внутренней сети здания или на вводе в дом может приниматься равным единице и лишь на шинах питающей подстанции он возрастает до $k_{м.м} = 1,1$.

Периодическая составляющая тока трехфазного КЗ (в нашем случае это и сверхпереходный ток, и его установившееся значение) в килоамперах определяется по формуле

$$I_n = I'' = I_\infty = U_{ном} / \sqrt{1,73 \sqrt{r_\Sigma^2 + x_\Sigma^2}}, \quad (15.7)$$

где $U_{ном}$ — номинальное линейное напряжение, В; r_Σ — суммарное активное сопротивление цепи КЗ, мОм; x_Σ — суммарное индуктивное сопротивление, мОм.

Как отмечалось, на ток КЗ существенно влияют переходные сопротивления. При отсутствии достоверных данных об этих величинах переходные сопротивления могут приниматься для распределительных щитов на подстанциях равными 15, на шинах ВРУ здания 20, на последующих щитах 25 мОм.

Активные и индуктивные сопротивления трехфазных силовых трансформаторов на стороне 0,4/0,23 кВ приведены ниже:

Мощность трансформатора, кВ·А	160	250	400	630	1000
Активное сопротивление, мОм, на фазу	17	10,2	5,7	3,2	2,1
Индуктивное сопротивление, мОм, на фазу	42	30,3	17,2	13,4	8,5

Таблица 15.1. Значения активных и индуктивных сопротивлений

Наименование	Активное сопротивление r , МОм	Индуктивное сопротивление x , МОм
Трансформаторы тока при коэффициенте трансформации:		
20/5	42	67
30/5	20	30
40/5	11	17
50/5	7	11
75/5	3	4,8
100/5	1,7	2,7
150/5	0,8	1,2
200/5	0,4	0,7
Катушка расцепителей автоматических выключателей при $\theta=65^\circ\text{C}$ и номинальном токе, А:		
50	5,5	2,7
70	2,4	1,3
100	1,3	0,9
200	0,4	0,3

Значения активных и индуктивных сопротивлений некоторых аппаратов приведены в табл. 15.1.

15.3. УПРОЩЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА ТРЕХФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Для уменьшения трудоемкости выполнения расчетов токов трехфазного КЗ, связанной с определением сопротивлений каждого из элементов короткозамкнутой сети, применяется упрощенный метод расчета, обеспечивающий достаточную для практических целей точность. Этот метод основан на использовании потерь напряжения и расчетного тока нагрузки, всегда известных из обычных расчетов проводов и кабелей на потерю напряжения и нагрев.

Приняты следующие допущения, влияющие как на увеличение, так и на уменьшение тока КЗ (ошибка в расчетах при этом, как показывает проектная практика, не превышает 10 %):

- 1) не учитывается сопротивление сети высшего напряжения;
- 2) применяется алгебраическое сложение полных сопротивлений;
- 3) в качестве расчетного принимается номинальное на-

пряжение электроприемников, а не напряжение холостого хода питающего трансформатора;

4) не учитываются переходные сопротивления контактов. Как известно, расчет тока КЗ может вестись в относительных единицах. При этом периодическая составляющая тока КЗ, A , определяется из выражения

$$I_{\pi}^{(3)} = I_0 / z_{r0}, \quad (15.8)$$

где I_0 — условный базисный ток, А; z_{r0} — относительное суммарное полное базисное сопротивление цепи,

$$z_{r0} = \sqrt{3} I_0 z / U_{\text{ном}}. \quad (15.9)$$

С другой стороны, падение напряжения в рассматриваемой точке сети, %, равно

$$\Delta U = \sqrt{3} I_{\text{max}} z \cdot 100 / U_{\text{ном}}, \quad (15.10)$$

где I_{max} — расчетный ток данного участка сети, А.

Разделив (15.9) на (15.10), получим, отн. ед.:

$$z_{r0} = \Delta U I_0 / (100 I_{\text{max}}). \quad (15.11)$$

С учетом принятых выше допущений имеем

$$z_{r0} = z_{r0,л} + z_{r0,т},$$

где $z_{r0,л}$ — относительное базисное полное сопротивление линии, определяемое аналогично по формуле $z_{r0,л} = \Delta U_{\pi} I_0 / (100 I_{\text{max}})$; $z_{r0,т}$ — относительное базовое полное сопротивление трансформатора.

Величину $z_{r0,т}$ можно выразить следующим образом, отн. ед.:

$$z_{r0,т} = u_{\kappa} I_0 / (100 I_{\text{ном,т}}),$$

где u_{κ} — напряжение КЗ трансформатора (по каталогу), %; $I_{\text{ном,т}}$ — номинальный ток трансформатора, А.

Теперь выражение периодической составляющей тока трехфазного КЗ для цепи, состоящей из n участков, примет вид, А:

$$I_{\pi}^{(3)} = \frac{100}{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta U_{\pi i}}{I_{\text{max}}} + \frac{u_{\kappa}}{I_{\text{ном,т}}}}. \quad (15.12)$$

Обычно при проектировании сетей до 1 кВ, выполняемых кабелями и проводами, проложенными в трубах или каналах строительных конструкций, известны активные состав-

яющие потерь напряжения, %, на каждом участке линии:

$$\Delta U_a = \sqrt{3} I_{max} r \cos \varphi \cdot 100 / U_{ном.}$$

Найдем отношение падения напряжения на данном участке линии к активной составляющей потери напряжения на этом же участке и обозначим его K_1 :

$$K_1 = \Delta U_a / \Delta U_a = z_d / (r \cos \varphi) = z_0 / (r_0 \cos \varphi) \approx 1 / \cos \varphi,$$

где z_0 и r_0 — полное и активное сопротивления 1 км линии, Ом/км.

Теперь выражение (15.12) может быть легко преобразовано в основную расчетную формулу для определения тока трехфазного КЗ, А:

$$I_n^{(3)} = \frac{100}{\sum_1^n \frac{K_1 \Delta U_a}{I_{max}} + \frac{u_k}{I_{ном.т}}} \quad (15.13)$$

В формулу (15.13) входят лишь величины, всегда известные при проектировании.

Коэффициент K_1 практически не зависит от сечения линии, что объясняется незначительным индуктивным сопротивлением кабелей и проводов, проложенных в трубах. Значения коэффициента K_1 для любых сечений проводников в зависимости от коэффициента мощности могут быть определены по следующим данным:

Коэффициент мощности	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1
Коэффициент K_1	1,67	1,53	1,44	1,35	1,27	1,18	1,11	1,06	1,01

Значения $u_k / I_{ном.т}$ для серийных масляных силовых трансформаторов при низшем напряжении 400/230 В составляют:

Мощность трансформатора, кВ·А	100	160	250	400	630	1000
$u_k / I_{ном.т}$	$30 \cdot 10^{-3}$	$18,5 \cdot 10^{-3}$	$11,8 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$

Как показывают сравнительные расчеты, определение тока КЗ упрощенным методом дает несколько завышенное значение тока КЗ в удаленных точках сети (в пределах 10–11 %) по сравнению со значением, вычисленным по формуле (15.7), что создает некоторый вполне допустимый запас.

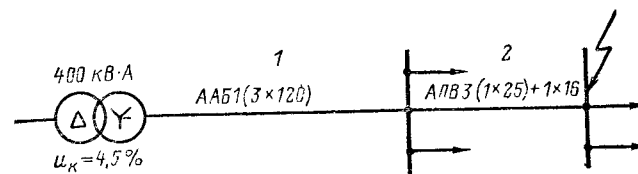


Рис. 15.1. Схема и исходные данные к примеру 15.1:

участок 1: $P_{max1} = 100$ кВт; $\cos \varphi_1 = 0,8$; $I_{max1} = 190$ А; $L_1 = 200$ м; $\Delta U_{a1} = 3,7$ %;
участок 2: $P_{max2} = 40$ кВт; $\cos \varphi_2 = 0,9$; $I_{max2} = 68$ А; $L_2 = 40$ м; $\Delta U_{a2} = 1,4$ %

Пример 15.1. Выполнить расчет тока трехфазного КЗ упрощенным методом в точке сети, схема и исходные параметры которой приведены на рис. 15.1.

Решение. Руководствуясь приведенными выше данными, находим $K_{11} = 1,27$; $K_{12} = 1,11$ и $u_k / I_{ном.т} = 7,4 \cdot 10^{-3}$. Затем по формуле (15.13) определяем ток трехфазного КЗ:

$$I_n^{(3)} = \frac{100}{\frac{1,27 \cdot 3,7}{190} + \frac{1,11 \cdot 1,4}{68} + 7,4 \cdot 10^{-3}} = 1,82 \text{ кА.}$$

15.4. ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ПРОВОДНИКОВ ПО УСЛОВИЯМ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Правила устройства электроустановок предписывают, какие виды электрического оборудования должны выбираться с учетом динамической и термической стойкости при коротких замыканиях.

Применительно к установкам до 1 кВ ПУЭ (гл. 1.4) предусматривают, что по режиму КЗ в электроустановках до 1 кВ должны проверяться щиты и токопроводы. Аппараты защиты, в них устанавливаемые, должны обладать способностью отключать КЗ, не разрушаясь. При этом в качестве расчетного должен приниматься наибольший возможный ток КЗ сети. Эти требования всегда должны соблюдаться при проектировании ВРУ, электрощитов, при определении стойкости шин, изоляторов и других опорных конструкций.

Полное удовлетворение требований ПУЭ в отношении защитных аппаратов не всегда экономически оправдывается. В связи с этим в некоторых нормативных документах допущены отступления, позволяющие более гибко подходить

к выбору аппаратов. Эти отступления основаны на крайне малой вероятности появления предельно возможных токов КЗ. Испытания показали, что действующие значения токов КЗ, полученные расчетным путем, практически не могут быть достигнуты. Так, для случая привинченной между планками медной перемычки сечением 6—25 мм² предельно возможный ток составил 60—87 % расчетного, для случая свободно лежащего на шинах медного бруса — 56, для случая перекрытия по изоляции — 32—56 %.

Существует ряд причин, вызывающих снижение тока КЗ. Как уже указывалось, одной из них являются переходные сопротивления контактов, точный учет которых крайне затруднен. Поэтому вполне допустимо производить выбор аппаратов по так называемому *одноразовому току* или, как его иногда называют, *току одноразовой предельной коммутационной способности*. Таким током можно считать предельный ток, при котором аппарат может выполнить коммутационную операцию 1 раз без пожара, увечья персонала или выхода из строя установки, даже если после этого аппарат не сможет выполнять свои функции и потребует ремонта. Значения одноразового тока приводятся в каталогах и информационных заводских материалах.

Разрешается также установка динамически нестойких аппаратов, если перед группой таких аппаратов устанавливается стойкий аппарат, являющийся своеобразным «сторожем». Нестойкие аппараты рекомендуется выносить на отдельные панели щитов.

На вводах в здания, как правило, устанавливаются токоограничивающие предохранители (большой частью ПН-2). Выбор аппаратов, установленных после таких предохранителей, может производиться по расчетному току КЗ, но не более наибольшего значения тока, пропускаемого предохранителями с плавкими вставками данного типа. Это же относится к защите некоторыми типами автоматических выключателей в токоограничивающем исполнении.

В свете изложенного выше можно сделать следующие основные выводы и рекомендации:

1. Шины, изоляторы и другие опорные конструкции вводных устройств, щитов, шкафов и токопроводов должны быть стойки к наибольшим значениям токов КЗ.

2. Аппараты, устанавливаемые на ВРУ, щитах, щитках, токопроводах в зданиях, могут выбираться по одноразовому току, значения которого должны даваться заводами-изготовителями. Практически это означает, что при удалении

ВРУ от питающей подстанции на расстояние 100 м и более расчеты токов КЗ становятся неактуальными, что подтверждается практикой проектирования и опытом эксплуатации электрооборудования зданий. При установке щитов непосредственно в подстанциях выбор аппаратов должен производиться из условий динамической стойкости при КЗ.

3. Аппараты защиты могут выбираться по наибольшему пропускаемому току плавких вставок предохранителей и автоматических выключателей с токоограничивающим действием, установленных впереди (по направлению потока энергии) этих аппаратов.

15.5. УПРОЩЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКОВ ОДНОФАЗНОГО КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Правила устройства электроустановок требуют определения тока однофазного КЗ с целью проверки нормальной работы аппаратов защиты и действенности системы зануления.

Упрощенная методика определения тока однофазного КЗ основана на использовании потери напряжения и расчетного тока нагрузки, всегда известных при обычных расчетах сети на нагрев и потерю напряжения. При этом приняты следующие допущения, не снижающие требуемой достоверности результатов: не учитываются сопротивления сети высшего напряжения; применяется алгебраическое сложение полных сопротивлений; в качестве номинального напряжения сети принимается номинальное фазное напряжение электроприемников, а не напряжение холостого хода питающего трансформатора.

Ток однофазного КЗ, I_K , может быть выражен формулой, которая выведена на основании метода симметричных составляющих и учитывает сопротивления прямой, обратной и нулевой последовательностей короткозамкнутой цепи:

$$I_K^{(1)} = U_\phi / \left(z_n + \frac{z'_T}{3} \right), \quad (15.14)$$

где U_ϕ — номинальное фазное напряжение сети, В; z_n — полное сопротивление петли, созданной фазным и нулевым проводами, Ом; z'_T — полное сопротивление трансформатора току замыкания на корпус, Ом.

Выражая сопротивления в относительных единицах, приведенных к базисному току I_0 , можно написать, А:

$$I_{\kappa}^{(1)} = I_0' \left(z_{r0, \text{п}} + \frac{z'_{r, \text{сг}}}{3} \right). \quad (15.15)$$

Полное сопротивление петли, отн. ед., созданной фазным и нулевым проводами, для участка сети

$$z_{r0, \text{п}} = \frac{I_{\text{max}} L \sqrt{(r_{\text{фс}} + r_{\text{н0}})^2 + x_{\text{п0}}^2}}{U_{\text{ф}}} \frac{I_0}{I_{\text{max}}}, \quad (15.16)$$

где $r_{\text{ф0}}$ — активное сопротивление 1 км фазного провода, Ом/км; $r_{\text{н0}}$ — то же нулевого провода; $x_{\text{п0}}$ — реактивное сопротивление петли, созданной фазным и нулевым проводами, Ом/км; I_{max} — расчетный ток линии, А; L — длина участка, км.

Активная составляющая потери напряжения, %, может быть выражена формулой

$$\Delta U_{\text{а}} = I_{\text{max}} r_{\text{ф0}} L \cos \varphi \cdot 100 / U_{\text{ф}}. \quad (15.17)$$

Найдем отношение

$$\frac{z_{r0, \text{п}}}{\Delta U_{\text{а}}} = \frac{I_0 \sqrt{(r_{\text{ф0}} + r_{\text{н0}})^2 + x_{\text{п0}}^2}}{r_{\text{ф0}} \cos \varphi I_{\text{max}} \cdot 100} = K' \frac{I_0}{100 I_{\text{max}}}, \quad (15.18)$$

откуда

$$z_{r0, \text{п}} = \frac{K' \Delta U_{\text{а}} I_0}{100 I_{\text{max}}}. \quad (15.19)$$

Выразив полное сопротивление трансформатора также в относительных единицах и приведя его к базисному току, можем записать

$$z_{r0, \text{т}} = \frac{z'_{\text{т}} I_{\text{ном, т}}}{U_{\text{ф}}} \frac{I_0}{I_{\text{ном, т}}} = \frac{I_0 z'_{\text{т}}}{U_{\text{ф}}}. \quad (15.20)$$

Подставляя полученные значения в (15.15), получаем выражение для тока однофазного КЗ, А:

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{1}{\frac{K' \Delta U_{\text{а}}}{100 I_{\text{max}}} + \frac{z'_{\text{т}}}{3 U_{\text{ф}}}}. \quad (15.21)$$

Для сети, состоящей из n участков, формула (15.21) имеет вид, А:

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{1}{\sum_1^n \frac{K' \Delta U_{\text{а}}}{100 I_{\text{max}}} + \frac{z'_{\text{т}}}{3 U_{\text{ф}}}}. \quad (15.22)$$

Оценим значения ошибок в сторону увеличения и снижения тока КЗ по принятым допущениям:

1) алгебраическое сложение полных сопротивлений может дать ошибку в сторону снижения тока КЗ примерно на 5 %;

2) принятие в расчетной формуле номинального напряжения электроприемников вместо напряжения холостого хода трансформатора также дает ошибку в сторону снижения тока КЗ на 5 %;

3) как показывают расчеты, неучтенные переходные сопротивления вызывают ошибку в сторону некоторого повышения тока КЗ не более чем на 5 % для всех возможных практических случаев.

Учитывая, что приведенные факты влияют как на снижение, так и на увеличение тока КЗ, выражения (15.21) и (15.22) следует считать достаточно точными для проектной практики.

Коэффициенты K' , вычисленные для наиболее распространенных сечений проводов, проложенных в трубах, четырехжильных и трехжильных кабелей с алюминиевой оболочкой, используемой в качестве нулевого провода, приведены в табл. 15.2.

В табл. 15.3 приведены значения $z'_{\text{т}} / 3 U_{\text{ф}}$ для некоторых силовых трансформаторов, отнесенные к напряжению 400/230 В (средние данные при высшем напряжении 10 кВ).

Правила устройства электроустановок регламентируют следующие требования, обеспечивающие быстрое срабатывание защиты при однофазных КЗ в конце защищаемого участка линии:

1) при защите предохранителями или автоматическими выключателями с обратозависимой от тока характеристикой ток замыкания на корпус или на нулевой провод должен превышать не менее чем в 3 раза номинальные токи плавких вставок предохранителей или тепловых расцепителей автоматических выключателей;

2) при защите автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), ток

Таблица 15.2.

Сечение фазного провода, мм ²	Провода в трубах и каналах			
	Сечение нулевого провода, мм ²	K' при cos φ		
		0,6	0,8	1
2,5	2,5	3,3	2,5	2
4	2,5	4,3	3,3	2,6
6	4	4,2	3,2	2,5
10	6	4,3	3,2	2,6
16	10	4,3	3,3	2,6
25	16	4,3	3,3	2,6
35	16	5,3	4	3,2
50	25	5	3,8	3
70	35	5,2	4	3,1
95	50	4,8	3,6	2,9
120	70	4,5	3,4	2,7
150	70	5,1	3,9	3,1
185	95	4,7	3,5	2,8

Таблица 15.3. Значения $z'_T/3U_\Phi$

Масляные трансформаторы			Сухие трансформаторы		
Мощность трансформатора, кВ·А	Схема соединения	$z'_T/3U_\Phi$	Мощность трансформатора, кВ·А	Схема соединения	$z'_T/3U_\Phi$
100	Y/Y _{II}	$1,13 \cdot 10^{-3}$	160	Д/Y _{II}	$0,25 \cdot 10^{-3}$
160	Y/Y _{II}	$0,71 \cdot 10^{-3}$	250	Д/Y _{II}	$0,16 \cdot 10^{-3}$
250	Y/Y _{II}	$0,47 \cdot 10^{-3}$	400	Д/Y _{II}	$0,1 \cdot 10^{-3}$
400	Y/Y _{II}	$0,29 \cdot 10^{-3}$	630	Д/Y _{II}	$0,06 \cdot 10^{-3}$
400	Д/Y _{II}	$0,1 \cdot 10^{-3}$	—	—	—
630	Y/Y _{II}	$0,19 \cdot 10^{-3}$	1000	Д/Y _{II}	$0,04 \cdot 10^{-3}$
630	Д/Y _{II}	$0,06 \cdot 10^{-3}$	—	—	—
1000	Y/Y _{II}	$0,13 \cdot 10^{-3}$	—	—	—
1000	Д/Y _{II}	$0,04 \cdot 10^{-3}$	—	—	—

Примечание. Y — соединение в звезду; Y_{II} — соединение в звезду с выведенной нейтральной точкой; Д — соединение в треугольник.

КЗ в петле фаза — нуль должен быть не менее тока уставки мгновенного срабатывания, умноженного на коэффициент разброса (по заводским данным) и на коэффициент запаса 1,1. При отсутствии заводских данных разрешается при-

Коэффициент K'

Кабели четырехжильные				Кабели трехжильные			
Сечение нулевой жилы, мм ²	K' при cos φ			Сечение оболочки, мм ²	K' при cos φ		
	0,6	0,8	1		0,6	0,8	1
—	—	—	—	—	—	—	—
2,5	4,3	3,3	2,6	—	—	—	—
4	4,2	3,2	2,5	32,8	1,9	1,5	1,2
6	4,3	3,2	2,6	37,6	2,1	1,6	1,3
10	4,3	3,3	2,6	43,3	2,2	1,7	1,3
16	4,3	3,3	2,6	45,2	2,4	1,9	1,5
16	5,3	4	3,2	56,8	2,5	1,9	1,5
25	5	3,8	3	66,8	2,7	2,1	1,6
25	6,3	4,8	3,8	83,6	2,9	2,2	1,7
35	5,9	4,4	3,5	103,8	2,9	2,2	1,7
35	7,1	5,4	4,3	117,6	3	2,3	1,8
50	6,4	4,9	3,8	128	3,6	2,7	2,2
50	8,9	6,8	5,4	165	3,6	2,6	2,1

нимать коэффициент разброса равным 1,3 для автоматических выключателей с номинальным током до 100 А; для прочих автоматических выключателей 1,14.

Пример 15.2. Определить ток однофазного КЗ в точке, показанной на рис. 15.1 (пример 15.1).

Решение. 1. По табл. 15.2 принимаем значения K' для отдельных участков сети: $K'_1 = 2,3$; $K'_2 = 2,95$.

2. По табл. 15.3 определяем $z'_T/3U_\Phi = 0,1 \cdot 10^{-3}$.

3. Определяем по формуле (15.22) ток однофазного КЗ:

$$I_K^{(1)} = \frac{1}{\frac{2,3 \cdot 3,7}{100 \cdot 190} + \frac{2,95 \cdot 1,4}{100 \cdot 68} + 0,1 \cdot 10^{-3}} = 863 \text{ А.}$$

15.6. ТЕРМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ КАБЕЛЕЙ НА НАПРЯЖЕНИЕ ДО 1 кВ С ПЛАСТМАССОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Токи КЗ вызывают дополнительный нагрев токоведущих частей электрических аппаратов, шин распределительных устройств и жил проводов и кабелей. Для установок и сетей напряжением до 1 кВ введен ряд допущений, позволяющих резко упростить задачу, о чем говорилось в § 15.4.

Однако в связи с организацией производства кабелей с полиэтиленовой и поливинилхлоридной изоляцией и их широким внедрением в городское строительство потребова-

лась проверка принятых кабелей по их термической стойкости при протекании тока КЗ. Определяющим при этом является ток однофазного КЗ в конце линии. Как известно, значения тока КЗ изменяются за время до отключения аппаратом защиты по сложной кривой, что весьма усложняет расчет. Однако в данном случае КЗ происходит на значительном удалении от генерирующего источника, и поэтому можно считать сверхпереходный ток незатухающим и равным установившемуся значению, а время его действия равным времени срабатывания защиты. Не учитывается и значение апериодической составляющей, а процесс нагрева признается адиабатическим, т. е. без отдачи теплоты в окружающую среду.

Тогда известное из теории уравнение для определения наименьшего сечения проводника s_{min} будет иметь вид

$$s_{min} = \frac{I_K^{(1)} \sqrt{t_z}}{c}, \quad (15.23)$$

где $I_K^{(1)}$ — ток однофазного КЗ на вводе в здание, А, определяется по (15.15); t_z — время отключения, с, принимается по времятоковой (защитной) характеристике аппарата защиты (предохранителя или автоматического выключателя) с учетом разброса; c — коэффициент, зависящий от материала жил кабеля и начальной и конечной температуры нагрева.

Для кабелей с полиэтиленовой изоляцией c можно принимать равным 60, для кабелей с поливинилхлоридной — 80.

Глава шестнадцатая

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

16.1. МЕТОДОЛОГИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО СРАВНЕНИЯ ВАРИАНТОВ

Электрические установки жилых и общественных зданий отличаются, как уже отмечалось в гл. 7 и 8, многовариантностью возможных проектных решений. Выбор наиболее целесообразного и экономного из возможных вариантов производится на основании технико-экономических расчетов по «Типовой методике определения эффективности капитальных вложений», утвержденной Госпланом СССР, Госстроем СССР, Академией наук СССР.

Выявление наиболее экономичного варианта производится по минимуму приведенных затрат, учитывающих годовые эксплуатационные расходы и окупаемость капитальных вложений.

Варианты, отличающиеся по приведенным затратам менее чем на 3 % (при исключении одинаковых составляющих затрат), считаются равноэкономичными. В пределах зоны равноэкономичности выбор оптимального варианта следует производить исходя из инженерной оценки тех качеств, которые не могли быть полностью учтены в затратах (надежность, расход электроэнергии, перспективность электробезопасность, расход цветного металла и т. п.).

Конечно, во всех случаях должно быть обеспечено выполнение технических требований правил и норм.

При сооружении электроустановки в один этап расчетные затраты, тыс. руб/год, определяются по выражению

$$Z = E_n K + И, \quad (16.1)$$

где E_n — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, равный 0,12* (срок окупаемости 1/0,12 = 8,3 года)*; K — суммарные капитальные вложения, тыс. руб.; $И$ — ежегодные издержки производства (эксплуатационные расходы), включающие затраты на компенсацию потерь энергии в сетях, тыс. руб/год.

При сравнении вариантов, в которых рассматривается развитие электрической сети во времени, капитальные вложения и ежегодные издержки по каждому варианту определяются с учетом разновременности затрат по годам расчетного периода $T_{р,пер}$. При этом учет разновременности затрат рассматриваемых вариантов осуществляется путем их приведения к какому-либо году $t_{прив}$, одинаковому для всех вариантов. Тогда приведенные затраты определяются

$$Z = \sum_{t=1}^{T_{р,пер}} (E_n K_t + \Delta И_t) (1 + E_n)^{t_{прив}-t}; \quad (16.2)$$

$$Z = \sum_{t=1}^{T_{р,пер}} (E_n K_t + \Delta И_m) (1 + E_n)^{t_{прив}-t}, \quad (16.3)$$

где E_n — нормативный коэффициент, учитывающий разновременность затрат, равный 0,08*; K_t — капитальные вло-

* Согласно методике определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений $E_n = 0,15$, а $E_n = 0,1$.

жения, тыс. руб.; $\Delta I_t = I_t - I_{t-1}$ — изменение издержек в каждом году расчетного периода по сравнению с предыдущим годом, тыс. руб./год.

Издержки производства определяются по формуле

$$I_t = I_p + I_{к,р} + I_3 + I_m, \quad (16.4)$$

где I_p — амортизационные отчисления на реновацию; $I_{к,р}$ — то же на капитальный ремонт; I_3 — затраты на эксплуатацию, включающие затраты на текущий ремонт; I_m — затраты на электроэнергию, приобретение сырья и компенсацию потерь энергии в сети.

Коэффициент суммарных ежегодных отчислений от капитальных вложений E_Σ определяется по выражению*

$$E_\Sigma = E_n + E_p + E_{к,р} + E_3. \quad (16.5)$$

Формулы (16.2) и (16.3) равноценны, однако расчеты проще вести по формуле (16.3), при которой ежегодные издержки, пропорциональные капитальным вложениям, определяются в процентах от последних $E_\Sigma K_t$ и складываются с издержками на покрытие прироста ΔI_m от стоимости потерь. Для электрических сетей до 1 кВ можно принимать $E_\Sigma = 0,224^{**}$.

В гл. 13 приведена методика определения потерь мощности и энергии. Затраты на компенсацию потерь энергии определяются с учетом коэффициента попадания максимума потерь в максимум энергосистемы в зависимости от времени наибольших потерь и района строительства, а также потерь в звеньях электрической сети более высокого напряжения (10, 35, 110, 220 кВ и т. д.).

16.2. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ СХЕМ ПИТАЮЩИХ И ГРУППОВЫХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

Многовариантность проектных решений и учет многих факторов требуют использования для технико-экономических расчетов ЭВМ, так как эти расчеты весьма трудоемки.

* Индексы к значениям коэффициентов отчислений аналогичны индексам к значениям издержек, указанным в формуле (16.4).

** $E_p = 0,035$; $E_{к,р} = 0,029$; $E_3 = 0,04$. При $E_n = 0,12$ $E_\Sigma = 0,244$. Приведенные данные рекомендуются Указаниями по проектированию городских электрических сетей ВСН 97-83 Минэнерго СССР.

целях выбора наиболее рациональных общих решений. Расчет питающих сетей жилых зданий высотой 9—30 этажей МНИИТЭП были выполнены на ЭВМ технико-экономические расчеты ряда вариантов построения схем.

Результаты расчетов и вытекающие из них рекомендации широко используются в проектной практике. Приведем основные положения методики расчетов.

Сравнение технико-экономических показателей и выбор оптимального варианта схемы производились по минимуму расчетных затрат, приведенных к началу эксплуатации сети (нулевой год). В приведенных затратах учитывались капиталовложения и ежегодные эксплуатационные расходы для рассматриваемого расчетного периода.

Внутренние сети зданий характеризуются значительным сроком службы. Потребность в их реконструкции в течение первых 10—15 лет эксплуатации, как правило, может возникнуть при высоких темпах ежегодного прироста нагрузок (7—8 %), которые на практике пока не встречались. Поэтому в расчетах было принято, что реконструкция внутренних сетей зданий в течение расчетного периода (15 лет) не производится. При определении затрат для первого года предполагается, что завершение строительства и ввод в эксплуатацию совпадают во времени (что практически имеет место в жилищном строительстве). Поэтому первоначальные капиталовложения и эксплуатационные расходы за первый год после строительства (он же первый год эксплуатации) приводятся к нулевому году с помощью коэффициента приведения затрат:

$$E_1 = 1/(1 + E_n). \quad (16.6)$$

Годовые эксплуатационные расходы зависят от темпов прироста нагрузок и имеют постоянную и переменную составляющие. К первой при отсутствии реконструкции относятся амортизационные отчисления на реновацию и капитальный ремонт, а также затраты на обслуживание сети, ко второй — потери электроэнергии в сети, зависящие от роста нагрузок.

Коэффициент отчислений от капитальных вложений на реновацию определяется по ведомственным нормам или формуле

$$E_p = \frac{E_n}{(1 + E_n)^{t_{сл} - 1}}, \quad (16.7)$$

где $t_{сл}$ — срок службы электрооборудования сети.

Затраты на компенсацию потерь электроэнергии состоят

из постоянной части (потери, определяемые нагрузкой в начале эксплуатации сети) и переменной части, обусловленной приростом нагрузок. Для сетей городского типа можно считать, что ежегодное изменение нагрузки пропорционально темпу прироста и определяется по формуле

$$P = P_0 A'.$$

Обозначим

$$E_2 = A^2/(1 + E_n),$$

где A — коэффициент прироста нагрузок, который может приниматься 1,03 для домов с газовыми плитами и 1,01 — 1,015 для домов с электроплитами.

С учетом изложенного суммарные за расчетный период затраты Z , руб., приведенные к началу эксплуатации,

$$Z = E_{\Sigma} K E_1 + C_0 [\Delta P_0 E_2 + \sum_{t=1}^{T_{p, \text{пер}}} (\Delta P_t - \Delta P_{t-1}) E_1^t], \quad (16.8)$$

где K — первоначальные капиталовложения, руб.; C_0 — стоимость 1 кВт·год потерь электроэнергии, руб/(кВт·год); ΔP и ΔP_t — потери мощности в сети в начальный и t -й годы эксплуатации.

Учитывая, что потери мощности пропорциональны квадрату коэффициента прироста нагрузок

$$\Delta P = \Delta P_0 A'^2$$

и принимая

$$E_2^{(T_{p, \text{пер}}+1)} = E_2^{T_{p, \text{пер}}},$$

после преобразования получаем

$$Z = E_{\Sigma} K E_1 + C_0 \Delta P_0 (1 - E_1) \frac{E_2^{T_{p, \text{пер}}} - E_2}{E_2 - 1}. \quad (16.9)$$

Выражение (16.9) упрощает вычисления по суммированию потерь по формуле (16.8) и позволяет определить потери мощности по нагрузкам в первый и последний годы расчетного периода. Следовательно, отпадает необходимость в расчете на все промежуточные годы. Сравнение параметров сети, выбранных с учетом влияния экономических факторов, с полученными на основании только технических характеристик (нагрев, потери напряжения) показало, что в последнем случае годовые приведенные затраты часто оказываются выше оптимальных на 15—20 %. Следовательно, учет экономических факторов вполне оправдан.

Таблица 16.1. Пределы допустимых потерь напряжения, при которых параметры электрической сети имеют значения, близкие к оптимальным

близкие к оптимальным

Элементы сети	Количество этажей	Потери напряжения, %, при количестве секций в здании		
		1	2—7	8—10
Газифицированные здания				
Стояки	5—8	0,6—0,7	0,4—0,6	0,5—0,8
	9—12	0,7—0,8	0,6—0,7	0,5—0,7
	13—14	0,8—1	0,7—0,9	0,6—0,8
Горизонтальные питающие линии внутри зданий	5—8	0,2—0,3	0,9—1,1	0,9—1,1
	9—12	0,2—0,3	1,1—1,5	1,5—1,7
	13—14	0,2—0,3	1,6—1,8	1,7—1,8
Внешняя питающая кабельная линия длиной до 100 м	5—8	2,1—1,7	2,2—1,7	2,2—1,8
	9—12	2,1—1,8	2,3—1,9	2,6—2
	13—14	2,4—2	2,4—2,1	2,7—2,2
То же от 100 до 200 м	5—8	4,5—4,3	4,2—3,8	4,1—3,6
	9—12	4,6—4,4	3,8—3,3	3,5—3,1
	13—14	4,5—4,2	3,2—2,8	3,2—2,9
Дома с электроплитами				
Стояки	5—8	0,2—0,4	0,2—0,5	0,3—0,5
	9—12	0,2—0,4	0,4—0,6	0,3—0,5
	13—16	0,3—0,5	0,5—0,7	0,4—0,6
	17—22	0,5—0,6	0,5—0,7	0,6—0,7
	23—30	0,6—0,7	0,6—0,8	0,7—0,9
	5—8	0,2—0,4	1,1—1,3	1,2—1,6
Горизонтальные питающие линии внутри зданий	9—12	0,3—0,4	1,2—1,6	1,6—1,8
	13—16	0,3—0,4	1,5—1,8	1,7—2
	17—22	0,4—0,5	1,7—1,9	1,8—2,1
	23—30	0,4—0,5	1,9—2,1	2—2,2
	5—8	1,6—1,4	1,9—1,5	2,1—1,7
	9—12	1,8—1,6	2—1,7	2—1,9
Внешняя питающая кабельная линия длиной до 100 м	13—16	2,2—1,7	2,2—1,8	2,5—2
	17—22	2,3—1,8	2,4—2	2,6—2,2
	23—30	2,5—2	2,7—2,2	2,8—2,4
	5—8	4,8—4,5	4,2—3,7	4—3,4
	9—12	5—4,8	3,9—3,3	3,6—3,2
	13—16	4,9—4,6	3,5—3	3,4—2,9
То же от 100 до 200 м	17—22	4,6—4,4	3,3—2,9	3,1—2,7
	23—30	4,5—4,3	3—2,6	2,8—2,4

Примечания: 1. Пределы допустимых потерь напряжения определены только по экономическому критерию (наименьшим приведенным затратам). При этом в большинстве случаев суммарные потери напряжения не выходят за пределы допустимых по ПУЭ. Однако для весьма протяженных линий и высоких зданий и при значительном удалении от ТП (что возможно в редких случаях) суммарные потери напряжения по табл. 16.1 могут оказаться выше допустимых по ПУЭ. В этих случаях их следует пропорционально уменьшить до пределов, предусмотренных ПУЭ. 2. По опыту проектирования потери напряжения во внутриквартирных групповых линиях в штепсельной сети и линиях питания электроплит 0,8—1 %. Потери напряжения в штепсельной сети и линиях питания электроплит в этих случаях можно не рассматривать, поскольку они не выходят за пределы, установленные соответствующими ГОСТ. 3. Как правило, приведенное в табл. 16.1 распределение потерь напряжения незначительно отклоняется от распределения, рассчитанного по наименьшему расходу цветного металла (см. гл. II).

Целесообразные схемы и оптимальное число питающих линий, количество ВРУ приведены в гл. 7. Наиболее экономичное распределение допустимых потерь напряжения между питающими кабелями, внутренними горизонтальными и вертикальными питающими линиями зданий (стояками) приведены в табл. 16.1.

Внутриквартирные электрические групповые сети жилых зданий являются важным звеном системы электроснабжения. Несмотря на то что на долю внутриквартирного электрооборудования приходится примерно 40—50 % капиталовложений в электрические сети городского типа, вопросам технически правильного и экономичного их построения должного внимания не уделялось. Учитывая важность этих вопросов, в последнее время МНИИТЭП, Ленинградским политехническим институтом им. М. И. Калинина предприняты попытки рассмотреть групповые сети квартир по техническим и экономическим критериям с учетом перспективного роста нагрузок. В результате этой работы были изданы временные рекомендации по проектированию групповых электрических сетей квартир с электроплитами без электроотопления и электроводонагрева, сооружаемых в Москве. Несмотря на некоторую неопределенность размещения бытовых электроприборов и их подключения, получены достаточно обоснованные данные для выбора параметров группо-

Таблица 16.2. Техничко-экономические показатели радиальной и кольцевой групповых линий питания штепсельных розеток (сечение провода марки АППВ 2,5 мм²)

Варианты	Расчетный ток, А	Потери напряжения, %	Потери мощности, Вт	Длина провода, м	Капитальные вложения, руб/квартира	Годовые расчетные затраты, руб/квартира
Двухкомнатная квартира:						
радиальная линия	11,5	4	115	89	12,8	4,03
кольцевая (замкнутая) линия	6,1	1,2	44	121	15,7	3,65
Трехкомнатная квартира:						
радиальная линия	12,3	4,4	121	112	16,2	4,65
кольцевая (замкнутая) линия	6,4	1,4	33	139	18,6	4,06

вых сетей, подтверждающие практику проектирования, в частности применение кольцевой замкнутой схемы питания линий штепсельных розеток.

В табл. 16.2 приведены для сопоставления технико-экономические показатели радиальной и кольцевой групповых линий питания штепсельных розеток, из которых видно, что расчетные годовые затраты при кольцевой схеме ниже, чем при радиальной. Кроме того, по условиям допустимой потерн напряжения при радиальной схеме пришлось бы увеличивать сечение проводов. При кольцевой схеме пропускная способность проводов возрастает в 1,5—2 раза.

16.3. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Вопросы оптимизации электрических сетей, в частности внутренних сетей общественных зданий, пока еще не доведены до такой стадии, при которой можно было бы получить обобщенные и достоверные математические выражения, пригодные для проектной практики. Поэтому приходится в ряде случаев наряду с разносторонней оценкой технических факторов (надежность, безопасность, расход цветного металла и т. д.) прибегать к технико-экономическому сопоставлению предполагаемых вариантов проектных решений. Методика этих расчетов изложена в § 16.1. Здесь остановимся лишь на некоторых частных случаях.

В [10] приведены следующие формулы для определения расчетных затрат, необходимых для сопоставления вариантов устройства осветительных установок, содержащих N светильников:

капитальные затраты

$$K = N(A_n + B + M + \gamma + 0,001\alpha p C n); \quad (16.10)$$

эксплуатационные расходы

$$I = N \left\{ \frac{T_{max} A_n}{t_{сн}} + \left[\alpha p T_{max} q n + \beta \alpha \tau q' n + 100(B + M + \gamma) + 0,1\alpha p C n + 1000 m B \right] 10^{-3} \right\}. \quad (16.11)$$

Полные расчетные затраты определяются по уже известной формуле

$$Z = E_n K + I = 0,12K + I. \quad (16.12)$$

В этих формулах следующие обозначения: n — число ламп в одном светильнике; p — мощность одной лампы, Вт; $t_{сл}$ — номинальный срок службы лампы, ч; $T_{мех}$ — максимальное число часов использования осветительной установки в год; a — стоимость электроэнергии, руб/(кВт·ч); q' — затраты на компенсацию потерь энергии, руб/(кВт·ч); τ — время на больших потерь, ч; m — число чисток светильников в год; A — цена одной лампы, руб.; B — цена одного светильника, руб.; M — стоимость монтажа одного светильника, руб.; C — стоимость монтажа электрической части осветительной установки на 1 кВт установленной мощности лампы, включая потери мощности в ПРА (для газоразрядных ламп), руб/кВт; V — стоимость одной чистки светильника, руб.; α , β , γ — коэффициенты, указанные в табл. 16.3.

Таблица 16.3. Коэффициенты α , β , γ

Коэффициент	Лампы накального типа	Люминесцентные лампы	Лампы ДРЛ, ДРИ и т. д.	
			без конденсаторов	с конденсаторами на групповой линии
α	1	1,2	1,1	1,1
β	$\Delta U/100$	$\Delta U/(\cos^2 \varphi \cdot 100)$	$\Delta U/(\cos^2 \varphi \cdot 100)$	$\frac{\Delta U_{пит}}{100 \cos^2 \varphi_{пит}} + \frac{\Delta U_{гр}}{100 \cos^2 \varphi_{гр}}$
γ	0	0	0	$K + M_k$

Примечание. В таблице приняты следующие обозначения: ΔU — потеря напряжения в осветительной сети от источника питания (трансформатора) до средней лампы, %; $\Delta U_{пит}$ — потеря напряжения в питающей сети от трансформатора до группового щитка, %; $\Delta U_{гр}$ — потеря напряжения в групповой сети от щитка до средней лампы, %; M_k — стоимость монтажа конденсаторов, приходящихся на один светильник с лампой ДРЛ, руб.; K — стоимость конденсаторов, приходящихся на один светильник с лампами ДРЛ, устанавливаемых на тропических линиях; $\cos \varphi$; $\cos \varphi_{пит}$; $\cos \varphi_{гр}$ — коэффициенты мощности осветительной установки с люминесцентными лампами, в питающей сети и в групповых сетях. Коэффициент γ вводится в расчеты только для тех зданий, где требуется компенсация реактивной мощности.

В приведенные формулы внесены некоторые уточнения для учета неравномерности графика нагрузки и затрат на компенсацию потерь энергии. Естественно, что сравнение вариантов должно вестись только для установок, создающих одинаковые осветительные условия.

Другим примером технико-экономических расчетов может быть методика, позволяющая распределить допустимую потерю напряжения ΔU в разветвленной линии исходя из минимума расчетных затрат.

Пусть токи на участках равномерно нагруженной трехфазной четырехпроводной линии будут I_1 и I_2 , А; P_1 и P_2 — мощности на этих же участках, кВт; ΔU_1 и ΔU_2 — потери напряжения; s_1 и s_2 — сечения проводов, мм²; L_1 и L_2 — длины участков, м; ρ — удельное сопротивление, Ом·мм²/м; a — постоянная составляющая стоимости проводов и монтажных работ, руб/м; b — переменная составляющая, зависящая от сечения, руб/мм². Остальные обозначения указаны выше. Запишем выражения расчетных затрат для обоих участков:

$$Z = E_z L_1 (a + b s_1) + \frac{3 I_1^2 \rho L_1 \tau q' \cdot 10^{-3}}{s_1} + E_z L_2 (a + b s_2) + \frac{3 I_2^2 \rho L_2 \tau q' \cdot 10^{-3}}{s_2}.$$

Известно, что

$$s_1 = P_1 L_1 / (C \Delta U_1); \quad s_2 = P_2 L_2 / (C \Delta U_2) = P_2 L_2 / [C (\Delta U - \Delta U_1)];$$

$$I_1 = P_1 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} U_{ном} \cos \varphi); \quad I_2 = P_2 \cdot 10^3 / (\sqrt{3} U_{ном} \cos \varphi).$$

Обозначим далее

$$a E_z = A; \quad b E_z / C = B; \quad \rho \tau q' C \cdot 10^3 / (U_{ном}^2 \cos^2 \varphi) = D.$$

Тогда выражение для затрат в окончательном виде

$$Z = A (L_1 + L_2) + B P_1 L_1^2 / \Delta U_1 + D P_1 \Delta U_1 + B P_2 L_2^2 / (\Delta U - \Delta U_1) + D P_2 (\Delta U - \Delta U_1). \quad (16.13)$$

Определим потери напряжения на первом участке при минимуме расчетных затрат:

$$\frac{dZ}{d\Delta U_1} = D (P_1 - P_2) + B P_2 L_2^2 / (\Delta U - \Delta U_1)^2 - B P_1 L_1^2 / \Delta U_1^2 = 0. \quad (16.14)$$

Получение достаточно простого выражения для ΔU_1 из (16.14) затруднительно, однако путем подстановки чисел для конкретного случая определение ΔU_1 для $Z_{мин}$ вполне возможно.

Отметим в заключение достаточно простую методику использования экономических интервалов. Для этого опре-

ляются граничные токи, А, исходя из условия равенства затрат для смежных сечений:

$$E_{\Sigma} L(a + bs_1) + 3I^2 \rho L \tau q' \cdot 10^{-3} / s_1 = E_{\Sigma} L(a + bs_2) + 3I^2 \rho L \tau q' \cdot 10^{-3} / s_2.$$

Принимая $E_{\Sigma} = 0,22$; $\rho = 0,03$ Ом·мм²/м; $q' = 0,02$ руб/(кВт·ч); $b = 0,04$ руб/(м·мм²), после простых преобразований получаем ток, А:

$$I = \sqrt{\frac{4900 s_1 s_2}{\tau}}. \quad (16.15)$$

Ниже для примера приведена табл. 16.4 экономических

Таблица 16.4. Экономические интервалы для трехфазных четырехпроводных сетей

Сечения, мм ²	Экономические интервалы при $\tau = 1000$ ч/год		Экономические интервалы при $\tau = 2000$ ч/год	
	Ток, А	Плотность тока, А/мм ²	Ток, А	Плотность тока, А/мм ²
2,5	7	2,8	4,9	2
4	7—11	1,75—2,75	4,9—7,8	1,25—1,95
6	11—17	1,83—2,83	7,8—12	1,3—2
10	17—28	1,7—2,8	12—20	1,2—2
16	28—44	1,75—2,75	20—31	1,24—1,94
25	44—65	1,75—2,6	31—46	1,24—1,83
35	65—92	1,85—2,6	46—64,5	1,3—1,83
50	92—130	1,83—2,6	64,5—92	1,3—1,83
70	130—180	1,85—2,6	92—127	1,3—1,83
95	180—240	1,9—2,5	127—170	1,77—1,84

интервалов для трехфазных четырехпроводных линий, выполненных проводом АПВ-500 и проложенных скрыто в винилпластовых трубах. Отметим, что сдвоенные и строенные линии экономических интервалов не имеют. Таблицы экономических интервалов могут быть составлены для любых проводов, и пользование ими упрощает вычислительную работу. При пользовании обычными методами расчетов целесообразно принимать сечения в пределах указанных экономических интервалов (конечно, с учетом прочих условий — допустимого нагрева и т. д.).

16.4. ОБЩАЯ ОЦЕНКА ЗАТРАТ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ И СРЕДСТВ, РАСХОДУЕМЫХ НА КОМПЕНСАЦИЮ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В гл. 2 уже отмечалось важное значение электрификации в жилых и общественных зданиях, а также для всего жилищно-коммунального хозяйства в целом. В данном параграфе рассмотрим некоторые аспекты этих вопросов, имея в виду необходимость оценки мероприятия по экономии электроэнергии в денежном выражении для сравнения вариантов проектируемых электросетей.

При этом, естественно, необходимо учитывать специфику этих сетей и установок, определяемую неравномерностью графиков их нагрузки как в течение суток, так и в разные времена года и при различных режимах их работы, а также в зависимости от уклада жизни населения.

Так, например, в жилых зданиях около 60 % всей электроэнергии расходуется в период между 18 и 22 часами, в летнее время расход электроэнергии на 20—25 % меньше, чем зимой, резко снижаются нагрузки в ночные часы и т. д. Благодаря указанным особенностям и трудностям регулирования мощности тепловых электростанций, а также возникающим при этом перерасходам топлива эти факторы оказывают серьезное влияние на себестоимость производства электроэнергии в зависимости от числа часов использования максимума нагрузок T_{max} и доли топливной составляющей в общих затратах.

Удельные затраты z на выработку 1 кВт·ч при неравномерном графике нагрузки и данном T_{max} по отношению к затратам z_0 при равномерном графике нагрузки ($T_{max} = 8760$ ч) характеризуются следующими выражениями:

$$\frac{z}{z_0} = \frac{z_0 + \Delta z}{z_0} = 1 + \frac{z_{T0}}{z_0} (\gamma - 1) + \left(1 - \frac{z_{T0}}{z_0}\right) \frac{\Delta T}{T_{max}} + \frac{C}{z_0}; \quad (16.16)$$

при этом затраты на топливо при равномерном графике нагрузки

$$z_{T0} = b_0 \frac{1}{1 - \alpha_1} \frac{1}{1 - \alpha_2},$$

где b_0 — топливная составляющая затрат на выработку 1 кВт·ч; α_1 — расход электроэнергии на собственные нужды электростанции, отн. ед.; α_2 — потери в электрических сетях всех напряжений, отн. ед.; Δz — увеличение удельных

затрат при неравномерном графике электропотребления; γ — коэффициент, учитывающий изменение топливной составляющей затрат ($\gamma > 1$); $\Delta T = 8760 - T_{max}$; C — дополнительные затраты на регулирование мощности агрегатов электростанций.

Поскольку изменения топливной составляющей в затратах зависят от технических характеристик агрегатов и для одинаковых агрегатов являются постоянными, можно γ определять по формуле

$$\gamma = 1 + 0,073 \frac{\Delta T}{T_{max}} \quad (16.17)$$

и с учетом этого выражения ранее приведенная формула (16.16) будет иметь следующий вид:

$$\frac{z}{z_0} = 1 + \left(1 - 0,927 \frac{z_{то}}{z_0}\right) \frac{\Delta T}{T_{max}} + \frac{C}{z_0}. \quad (16.18)$$

На рис. 16.1 показано изменение удельных затрат на выработку электроэнергии в зависимости от T_{max} и доли топливной составляющей $z_{то}$ без учета затрат на регулирование режима работы агрегатов, их остановов и содержания в горячем резерве ($C=0$).

Отметим, что в связи с ростом цен на топливо и его транспортировку в современных условиях топливная составляющая растет быстрее, чем общая себестоимость электроэнергии (в общей себестоимости электроэнергии в энергосистемах топливная составляющая достигает 35—50 %).

В связи с этими соображениями для расчетов в проектной практике введены так называемые замыкающие затраты, утвержденные в централизованном порядке для всех отраслей народного хозяйства (табл. 16.5).

Замыкающие затраты определены для опорных пунктов энергосистем и не учитывают затрат на городские электрические сети, которые рассчитаны Гипрокоммунэнерго.

При другом числе часов использования максимума замыкающие затраты пересчитываются по формуле

$$z_{эл} = \frac{7(T_{max} - 1)z_{эл,б} + (7 - T_{max})z_{эл,п}}{6T_{max}}, \quad (16.19)$$

где $z_{эл,б}$ и $z_{эл,п}$ — замыкающие затраты на базовую и пиковую электроэнергию.

Число часов использования максимума определяется по известной формуле

$$T_{max} = W_{год}/P_{max}.$$

Рис. 16.1. Увеличение удельных затрат на выработку электроэнергии в зависимости от числа часов использования максимума T и доли топливной составляющей $z_{то}$ в общих затратах

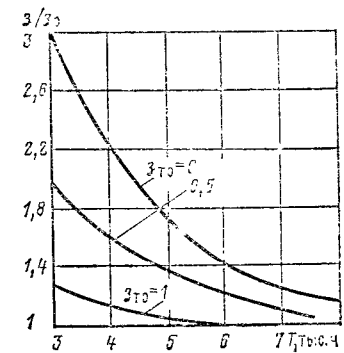


Таблица 16.5. Округленные замыкающие затраты на электроэнергию, коп/(кВт·ч)

Объединенные энергосистемы	Замыкающие затраты на электроэнергию при годовом числе использования максимума				Замыкающие затраты на электроэнер- гию в пиковые часы
	7000		1000		
Центра	<u>1,15</u>	$\left(\frac{1,45}{1,85}\right)$	<u>3,45</u>	$\left(\frac{4,65}{5}\right)$	<u>0,7</u>
	1,55		3,8		0,35
Урала	<u>1,05</u>	$\left(\frac{1,45}{1,75}\right)$	<u>3,3</u>	$\left(\frac{4,5}{5,7}\right)$	<u>0,45</u>
	1,45		3,6		0,55
Средней Азии	<u>1,05</u>	$\left(\frac{1,35}{1,65}\right)$	<u>2,05</u>	$\left(\frac{2,65}{3,95}\right)$	<u>0,55</u>
	1,35		3,65		0,55

Примечания: 1. Значения замыкающих затрат без учета (в скобках с учетом) городских электрических сетей. 2. В числителе приведены значения на уровне 1985 г., в знаменателе — на уровне 1950 г. 3. Замыкающие затраты даны для T_{max} равного 7000 и 1000.

Замыкающие затраты на электроэнергию, вырабатываемую в ночные часы провала графика нагрузки, зависят только от топливной составляющей и равны 0,6—0,7 коп/(кВт·ч) и, по-видимому, будут постепенно снижаться, что еще раз подтверждает целесообразность заполнения графика нагрузки.

В некоторых случаях проектировщики ведут технико-экономические расчеты, пользуясь тарифными ставками на электроэнергию, однако в этих случаях будет учтен не народнохозяйственный эффект, а экономия только по данному конкретному объекту.

Для выбора оптимального энергоносителя можно пользоваться несколько уточненной формулой приведенных затрат

$$z_{пр} = E_n K_{доп} + I_{доп} + z_{эл} W, \quad (16.20)$$

где $K_{доп}$ — дополнительные капиталовложения в систему электроснабжения от опорных пунктов энергосистемы или топливоснабжения от пунктов, для которых рассчитаны замыкающие затраты до потребителя, включая стоимость технологического оборудования; $I_{доп}$ — годовые расходы по эксплуатации этого оборудования; $z_{эл}$ — удельные замыкающие затраты на энергоноситель; W — годовой расход энергоносителя.

При определении экономического эффекта от внедрения мероприятий по экономии электроэнергии можно пользоваться несколько преобразованной формулой

$$\mathcal{E} = z_{эл} A_0 - E_n K_{доп} - I_{доп}. \quad (16.21)$$

При чисто организационных мерах ($K_{доп}$ и $I_{доп}$ равны 0)

$$\mathcal{E}_{эл} = z_{эл} A_0. \quad (16.22)$$

Если $\mathcal{E}$ положительно, мероприятие окупается в нормативные сроки, при отрицательном $\mathcal{E}$ мероприятие экономически нецелесообразно.

Пример 16.1. В многосекционном 9-этажном доме установленная мощность электроосвещения лестничных клеток и коридоров составляет 50 кВт, а число часов использования максимума при управлении с помощью фотореле составляет 5000 ч в год. После включения в схему реле времени типа 2РВМ число часов использования максимума снизилось до 3000 за счет отключения в ночные часы рабочего освещения. Стоимость реле с монтажом 23 руб., затраты на эксплуатацию 4 руб. в год. Определить народнохозяйственный эффект от отключения часов освещения.

Решение 1. Определяем годовые расходы электроэнергии до и после включения реле времени:

$$W_1 = 50 \cdot 5000 = 250\,000 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

$$W_2 = 50 \cdot 3000 = 150\,000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

2. Определяем годовую экономию электроэнергии:

$$W_0 = 250\,000 - 150\,000 = 100\,000 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

3. Определяем значения замыкающих затрат на электроэнергию

$$T_{max1} = 4500 \text{ и } T_{max2} = 3000 \text{ ч в год}.$$

По табл. 16.5 для уровня 1990 г.

$$z_{эл1} = \frac{7(5-1)1,85 + (7-5)5}{6,5} = 2,06 \text{ коп}/(\text{кВт}\cdot\text{ч});$$

$$z_{эл2} = \frac{7(3-1)1,85 + (7-3)5}{6,3} = 2,55 \text{ коп}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}).$$

3. Стоимость сэкономленной электроэнергии

$$\mathcal{E}_{эл} = z_{эл1} - z_{эл2} = 2,06 - 2,55 = -0,49 \text{ коп}/(\text{кВт}\cdot\text{ч}).$$

4. Принимая стоимость реле с установкой 23 руб. и стоимость его эксплуатации 4 руб., определяем народнохозяйственный эффект.

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = 1321 - 0,12 \cdot 23 - 4 = 1318,24 \text{ руб.}$$

Из примера следует, что предложенное мероприятие экономически оправдано и быстро окупится.

5. Экономический эффект абонента будет выше (при тарифе 4 коп/кВт·ч)

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = (250\,000 - 150\,000) 0,01 - 0,12 \cdot 23 - 4 = 3993,24 \text{ руб.}$$

При технико-экономических расчетах важное значение имеет определение потерь электроэнергии в элементах электрических сетей и оценка в денежном выражении средств, требуемых на их компенсацию. Как известно, потери электроэнергии в электрической сети состоят из постоянных потерь, не зависящих от нагрузки, и переменных потерь, зависящих от нагрузки данного элемента сети.

Затраты на компенсацию потерь электроэнергии могут быть определены из выражения

$$z_{пот} = \Delta P_{пост} T_{вкл} z'_{эл} + \Delta P_{пер} \tau z''_{эл}. \quad (16.23)$$

где $\Delta P_{пост}$ — постоянные потери мощности, не зависящие от нагрузки, кВт; $T_{вкл}$ — время включения элемента сети в год, ч; τ — годовое число часов потерь (при переменной мощности потерь); $z'_{эл}$ — удельные замыкающие затраты на компенсацию постоянных потерь, руб/(кВт·ч); $\Delta P_{пер}$ — переменные потери мощности, зависящие от нагрузки, кВт; $z''_{эл}$ — удельные замыкающие затраты на компенсацию переменных потерь, руб/(кВт·ч); $z'_{эл}$ и $z''_{эл}$ принимаются по графикам, приведенным на рис. 16.2 для разных регионов нашей страны¹.

Коэффициент α_{max} определяется в зависимости от коэффициента K_{max} участия в максимуме энергосистемы

$$\gamma_{max} = K_{max}^2. \quad (16.24)$$

¹ Эти показатели в настоящее время пересматриваются.

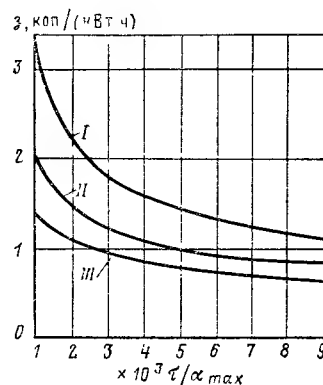


Рис. 16.2. Удельные показатели стоимости потерь мощности и электроэнергии в электрических сетях, относенные к 1 кВт·ч потерь:

I — ОЭС Центра, Средней Волги, Северо-Запада, Урала, Северного Кавказа, Закавказья; II — ОЭС Казахстана, Средней Азии, Востока; III — ОЭС Сибири

Для коммунально-бытовых потребителей α_{max} можно принимать равным 0,9—0,95.

При проектировании необходимо знать дополнительные потери в звеньях сети более высокого напряжения. При отсутствии этих данных можно определять коэффициент K_n , вводимый к затратам, принятым по графикам рис. 16.2 по нижеследующей формуле, %:

$$K_n = 1 + 2 \sum_{i=1}^m \Delta W_n / 100, \quad (16.25)$$

где m — число ступеней трансформации; ΔW_n — дополнительные потери электроэнергии в сети высокого напряжения, ΔW_n можно принимать равными 2,5 % для сети напряжением 220—330 кВ, 1,5 % — для сети 110—150 кВ, 1 % — для сети 35 кВ и 3,5 % — для сети 6 (10) — 20 кВ. Для сети 0,38 кВ коэффициент K_n получается равным

$$K_n = 1 + 2 \left(\frac{2,5}{100} + \frac{1,5}{100} + \frac{1}{100} + \frac{3,5}{100} \right) = 1,17.$$

Пример 16.2. Потери электроэнергии в линии составляют при напряжении 220/127 В — 3800, а при напряжении 380/220 В — 1270 кВт·ч/год. Определить годовые затраты на возмещение потерь электроэнергии в линии (число часов потерь $\tau = 1000$).

Решение. 1. По рис. 16.2 определяем для $\tau/\alpha_{max} = 1000/0,95 = 1050$ кВт·ч $z_{зд} = 3$ коп/(кВт·ч) ($z_{зд} = 0$).

С учетом потерь энергии в сетях более высокого напряжения

$$z_{зд} = 1,17 \cdot 3 = 3,51 \text{ коп. (кВт·ч)}.$$

2. Затраты на компенсацию потерь электроэнергии будут равны: при напряжении 220/127 В

$$z_{пот} = 3800 \cdot 3,51 = 133,38 \text{ руб./год;}$$

при напряжении 380/220 В

$$z_{пот} = 1270 \cdot 3,51 = 44,58 \text{ руб./год.}$$

Раздел пятый

КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В электроустановках жилых и общественных зданий применяются различные вводно-распределительные устройства, этажные и квартирные щитки, силовые распределительные пункты, щитки с понижающими трансформаторами, шкафы и пункты с элементами автоматики противопожарных устройств. Они являются комплектными устройствами для приема и распределения электроэнергии в четырехпроводных электрических сетях до 1 кВ. В комплектных устройствах смонтированы коммутационные и защитные аппараты, измерительные приборы, в отдельных случаях — аппаратура автоматики.

Типизация конструктивных решений строительной части зданий позволила унифицировать элементы их электроустановок и создать достаточно стабильную номенклатуру комплектных устройств. В свою очередь, это открыло дорогу для их крупносерийного производства.

В современных жилых и общественных зданиях в основном выполняются скрытые электропроводки. Открытые проводки применяют лишь в подсобных помещениях — подвалах, технических подпольях, чердаках и в технических помещениях. При проектировании необходимо учитывать, что скрытые проводки в помещениях с нормальной средой имеют преимущества перед открытыми проводками как по условиям эстетическим, гигиеническим, безопасности и долговечности, так и, как правило, по стоимости и трудоемко-

сти их монтажа. Поэтому всегда следует отдавать предпочтение скрытым электропроводам. На выбор вида и трассы прокладки скрытых электропроводок влияют размещение электроприемников и планировочные решения. Не меньшее значение имеют конструктивное выполнение стен и перекрытий здания, способы изготовления строительных конструкций и методы их монтажа.

Как было указано в гл. 7, электрические сети подразделяются на питающие и групповые (в силовых сетях — распределительные). В жилых зданиях наибольший объем электромонтажных работ приходится на выполнение групповых электропроводок в квартирах, поэтажных коридорах и на лестничных клетках. Поэтому первоочередное внимание должно быть уделено наиболее экономичному и промышленному способу их выполнения. В зависимости от вида применяемых проводок выбираются марки проводов, электроустановочные и электромонтажные изделия.

Глава семнадцатая

КОМПЛЕКТНЫЕ УСТРОЙСТВА

17.1. ВВОДНО-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Вводные (ВУ) или вводно-распределительные (ВРУ) устройства устанавливаются в зданиях в местах ввода внешних питающих сетей и предназначены для присоединения к ним внутренних электрических сетей зданий и распределения электрической энергии. Схемы присоединения к внешним сетям и распределения электрической энергии в зданиях разнообразны. Однако несмотря на разнообразие они состоят по существу из сравнительно ограниченного количества отличающихся друг от друга элементов. В схемах вводной части ими являются один или два рубильника или переключателя с предохранителями, один или два автоматических выключателя, два автоматических выключателя или два контактора с аппаратурой АВР, а также все перечисленное выше в сочетании с аппаратурой измерения или учета.

В крупных зданиях число вводных коммутационных и защитных аппаратов в зависимости от нагрузок может

быть три и более. Для распределительной части типичны сборки групп автоматических выключателей или предохранителей, сборки с аппаратурой учета, общей для всей сборки, и с аппаратурой учета на отдельных группах, а также с рубильниками или автоматическими выключателями на вводах сборок. Все перечисленное в распределительной части может сочетаться с аппаратурой автоматического управления освещением.

Номинальные токи аппаратуры вводной части обычно 250, 400, 630 А и в крупных зданиях 1000 А и более, распределительной части — 16, 25, 40, 63, 100, 250 А и лишь в отдельных случаях 400 А.

Вводно-распределительные устройства состоят из элементов вводной и распределительной частей в разных сочетаниях. Выполняются ВРУ в виде щитов одностороннего или двухстороннего обслуживания, которые собирают из панелей или шкафов. Простейшие ВРУ выполняются в виде одиночных панелей, шкафов и ящиков.

Аппараты типовых элементов, перечисленные выше, крепят на металлоконструкции (рамах) и соединяют в соответствии со схемой данного элемента. Рамы со смонтированной аппаратурой являются нормализованными элементами ВРУ и устанавливаются на каркасах панелей или в шкафах, из которых собирают щиты. При этом соблюдается следующее. Раму с аппаратурой учета при установке в шкафу размещают в отдельном отсеке, имеющем дверь, которая запирается независимо от других дверей шкафа. Перегородками разделяют аппаратуру вводов (неавтоматическую и автоматическую) питающих линий, отходящих от разных вводов, и аппаратуру, устанавливаемую в одном шкафу (на одной панели), присоединяемую к разным линиям, отключаемым независимо. Разделение перегородками необходимо для обеспечения безопасности при обслуживании. Рамы с аппаратурой, установленные на панелях или в шкафах, соединяют друг с другом шинами (в том числе изолированными) или проводами.

Во ВРУ, выполненных в виде щитов одностороннего или двухстороннего обслуживания, токоведущие части не защищены от прикосновения и попадания на них посторонних предметов. Поэтому такие ВРУ устанавливают в специальных помещениях — электрощитовых. Кроме того, установка в электрощитовых вызвана необходимостью ограничения доступа к рукояткам управления, которые выведены на фасады щитов.

В щитах, расположенных в шкафах, рукоятки управления установлены за дверями. Их запирают различными замками и ключи передают соответствующему персоналу. Кроме того, у ВРУ этого типа исключена возможность случайного прикосновения к токоведущим частям и попадания на них посторонних предметов. Следовательно, их можно устанавливать в любых помещениях с нормальной средой, где перед фасадом ВРУ имеется проход шириной не менее 1—1,2 м. Конечно, при этом следует стремиться, чтобы ВРУ не устанавливались там, где часто проходят люди, что всегда вызывает неудобства при ремонтных и других работах.

Питающие кабельные линии вводятся снизу. К вводным клеммам каждого из переключателей вводного шкафа возможно присоединение четырех кабелей сечением до 150 мм². Вывод проводов или кабелей линий, отходящих от распределительных шкафов, возможен вверх (через крышки шкафов) или вниз. Все проводники, соединяющие аппаратуру, установленную в разных шкафах, проходят в верхней части этих шкафов.

Вводно-распределительное устройство является комплексным электрическим устройством заводского изготовления и поставляется отдельными шкафами или блоками из нескольких шкафов со всеми соединительными проводниками между ними, которые могут быть как шины, так и изолированные провода. Заказ выполняется по опросному листу специальной формы.

Указанные конструкции ВРУ устанавливаются у стены в электрощитовых или других помещениях. Для ввода кабелей снизу во вводные шкафы и для вывода линий вниз из распределительных шкафов в полу в месте установки ВРУ должны быть выполнены приямы или открытый канал. В объем работ на месте монтажа входят установка шкафов над приямками или каналом; скрепление каркасов шкафов друг с другом; крепление шкафов к основанию (каждый шкаф крепится четырьмя болтами, дюбелями или штырями диаметром 12 мм); закрытие открытых боковых сторон крайних шкафов ВРУ торцевыми панелями (если эти панели не были установлены на заводе); прокладка нулевой шины (общей для всего ВРУ) в нижней части шкафов; прокладка и присоединение всех проводников между шкафами (дополнительных работ по оконцеванию не требуется, так как эти проводники поставляются с полной монтажной готовностью, т. е. мерной длины и оконцеванием); выполнение присоединения жил всех подходящих

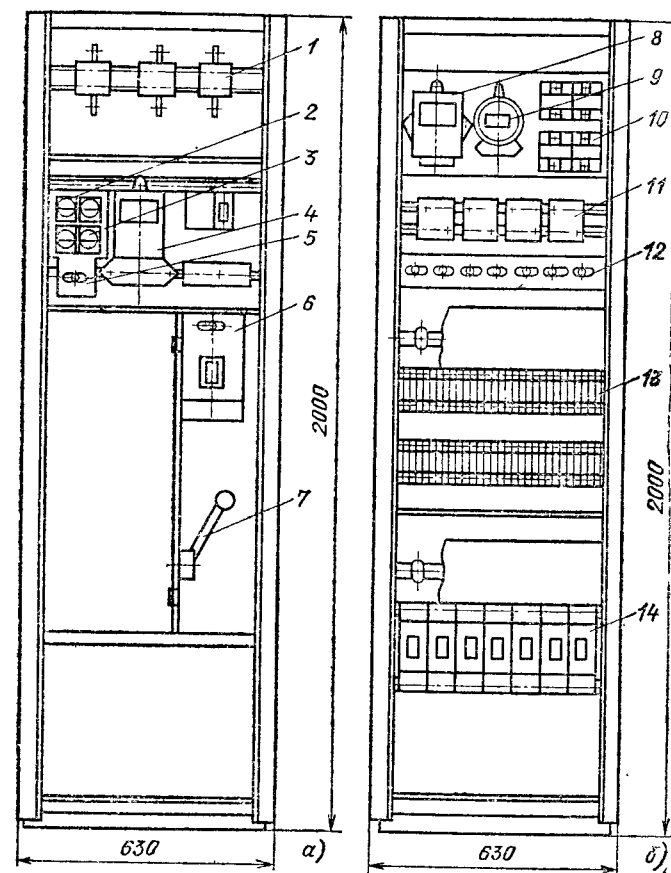


Рис. 17.1. Шкафы ВРУ-78 со снятыми дверями:

а — вводный шкаф; б — распределительная панель; 1 — трансформаторы тока; 2 — амперметры; 3 — вольтметры; 4 — счетчик; 5 — вольтметровый переключатель; 6 — выключатель; 7 — переключатель вводный; 8 — реле времени 2РВМ; 9 — фотозащитный выключатель; 10 — реле промежуточные; 11 — пускатели магнитные; 12 — выключатели; 13 — автоматические выключатели однополюсные АЕ1031; 14 — автоматические выключатели трехполюсные АЕ2046

и отходящих линий; регулировка аппаратуры; установка патронов предохранителей (если они не были установлены на заводе).

В крупных городах — Москве, Ленинграде и др. — применяют специальные серии ВРУ, предназначенные для установки в многоэтажных зданиях. Так, например, в Москве до

недавнего времени изготавливались серийно и широко применялись ВРУ-78, вводная и распределительная панели которых показаны на рис. 17.1.

В настоящее время разработана и внедряется новая серия ВРУ.

В серию входят вводные и распределительные шкафы, в том числе шкафы с АВР и специальные шкафы для подключения противопожарных установок. Во вводных шкафах имеются рубильники и переключатели до 630 А выключательно, амперметры, вольтметры и счетчики. В распределительных шкафах имеются разнообразнейшие сочетания автоматических выключателей на разные номинальные токи и исполнения, обеспечивающие распределение энергии в жилых и общественных зданиях высотой до 25 этажей. В набор распределительных шкафов входят шкафы, в которых устанавливаются аппараты защиты общедомовых линий и автоматического управления лестничным и наружным освещением. Широкое распространение имеют также панельные щиты одностороннего обслуживания типа ЩО-70 с большим набором различных схем на предохранителях и автоматических выключателях.

Следует отметить, что для успешного крупносерийного производства ВРУ и полного обеспечения такими устройствами массового жилищного и гражданского строительства необходима дальнейшая типизация и унификация этих устройств. Прогрессивная тенденция крупноблочного объемного изготовления комплектных устройств, бесспорно, должна отразиться на конструкции ВРУ. Целесообразно выполнение ВРУ в виде однопольных блоков-шкафов со всей полностью соединенной аппаратурой. Некоторый избыток в аппаратуре против требуемой по проекту, установленной в таких ВРУ, всегда может быть компенсирован сокращением запасных аппаратов, передаваемых заводом-поставщиком заказчику.

17.2. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ПУНКТЫ И ЩИТКИ

Распределительные пункты и щитки подразделяются:

а) по типам аппаратов на отходящих линиях — с предохранителями, с автоматическими выключателями;

б) по схемам электрических соединений — для четырех-, трех- и двухпроводных отходящих линий, с вводными или без вводных аппаратов;

в) по роду защиты от воздействия окружающей среды (виды защиты регламентированы ГОСТ);

г) по способу установки — навесные, панельные и утопленные;

д) по наличию аппаратуры для дистанционного управления освещением.

Существуют щитки, предназначенные специально для жилых зданий, и щитки и распределительные пункты, предназначенные для установки в различных общественных зданиях.

В жилых зданиях применяются щитки следующих видов:

а) этажные (лестничные) защитные с аппаратурой защиты вводов в квартиры;

б) этажные (лестничные) учетные с аппаратурой защиты групповых линий квартир, счетчиками и коммутационными аппаратами, устанавливаемыми перед счетчиками;

в) этажные (лестничные), совмещенные со счетчиками и аппаратурой, такими же, как в этажных лестничных учетных щитках, и, кроме того, имеющие дополнительное отделение, в котором размещаются устройства телефонной, радиотрансляционной и телевизионной сетей;

г) квартирные с аппаратурой защиты групповых линий, счетчиками и коммутационными (допускающими коммутацию под нагрузкой) аппаратами на вводах.

Для перечисленных щитов стандарт рекомендует автоматические выключатели, но допускает также применение резьбовых предохранителей. Этажный щиток для установки в нише представляет собой раму с шасси и дверью. На шасси рамы на отдельных основаниях укреплены счетчики, защитные и коммутационные аппараты и зажимы. В пределах щитка выполнены все соединения. Этажные щитки защитные содержат только защитную аппаратуру вводов в квартиры и применяются, когда счетчики и защитная аппаратура групповых линий квартир установлены на квартирных щитках.

На рис. 17.2 показан этажный щиток для присоединения четырех квартирных щитков. На шасси рамы справа и слева установлены четыре автоматических выключателя, ответственные зажимы для присоединения автоматических выключателей к проводам магистрали (стояка) и зажимы для присоединения нулевых проводов вводов в квартиры к нулевому проводу питающей линии. Щиток укрепляется в нише при помощи четырех распорных болтов, имеющихся на шасси. Провода магистрали, таким образом, прохо-

Вид с открытой дверцей и снятым защитным листом

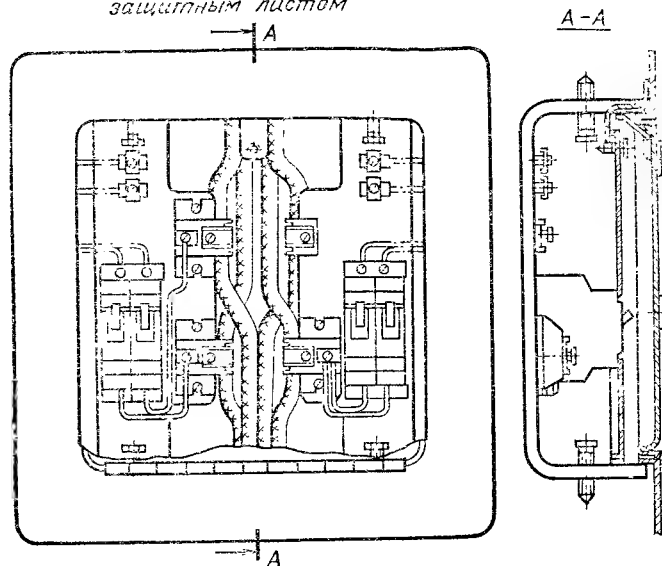


Рис. 17.2. Этажный щиток с аппаратурой защиты

дят в нише, но они не мешают установке или снятию щитка и могут прокладываться как до, так и после его установки. Дверца щитка удерживается в закрытом положении защелкой.

На этажных щитках учетных (обычно запирающийся электрошкаф) сосредоточена вся защитная аппаратура и счетчики квартир. В пределах щитка (т. е. до ответвительных зажимов) выполнены все соединения. В верхнем отсеке, куда имеют доступ жилы, расположены автоматические выключатели для защиты групповых квартирных сетей и автоматические или пакетные выключатели для полного отключения квартирной сети.

В нижнем отсеке, куда доступ имеют только работники энергоннадзора, установлены счетчики. Перед циферблатами счетчиков в двери имеются окна, закрытые стеклами. Щиток укрепляется в нише при помощи четырех распорных болтов, имеющих на шасси.

Этажный щиток совмещенный отличается от этажного учетного щитка наличием отсека для аппаратуры телефонных, радиотрансляционных и телевизионных сетей.

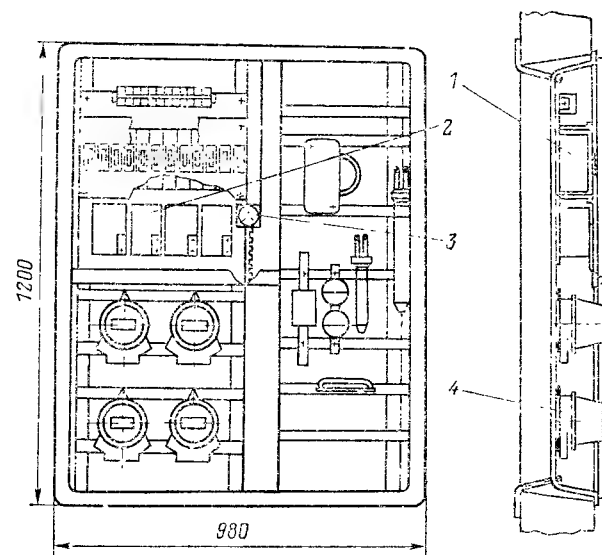


Рис. 17.3. Этажный щиток типа ШЛС-4:

1 — выключатель автоматический АЕ1031; 2 — выключатель, автоматический АП50; 3 — розетка У-910, 4 — счетчик однофазный типа СО

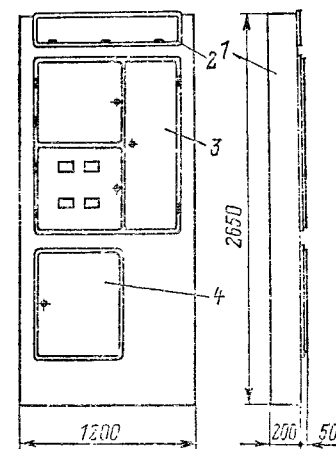


Рис. 17.4. Общий вид установки этажных щитков в электроблоке:

1 — электроблок; 2 — ограждение; 3 — распределительный шкаф ШЛС-4; 4 — шкаф с автоматическим выключателем защиты стояка типа ШАС

Этажный щиток совмещенный типа ШЛС-4, применяемый в Москве, для установки в нишах показан на рис. 17.3. На рис. 17.4 показан общий вид установки щитка ШЛС-4 в специальном железобетонном электроблоке. В этом блоке размещаются шкафы ШАС, в которых устанавливаются (только на первом этаже) автоматические выключатели для защиты стояков и их отключения при ремонтах. В верхней части блока устанавливается обрамление ОДМ с дверкой для протяжки проводов.

Квартирные щитки содержат счетчики и аппаратуру защиты групповых линий квартирной сети и применяются, если счетчики и аппаратура не вынесены на этажные щитки. Существуют конструкции таких щитков для установки в нише ЦУН и на стене ЩУС.

Перспективным для жилищного строительства является **комплектный этажный распределительный токопровод**, заменяющий собой щитки, устанавливаемые на этаже, а также бетонные электроблоки.

Устройство представляет собой шкафную металлическую конструкцию заводского изготовления, которая поступает на строительную площадку в смонтированном виде. На строительстве необходимо выполнить межэтажные соединения проводов стояка (методом опрессования) и прокладку групповой сети и сетей связи. Предусмотрена возможность установки автоматических выключателей защитного отключения, а также прокладки в квартиры сетей переговорно-звонковых устройств.

В общественных зданиях применяются магистральные, групповые щитки и распределительные пункты для управления и защиты от КЗ и перегрузок групповых осветительных и силовых распределительных сетей.

Из наиболее распространенных отметим распределительные пункты серии ПР9000, ПР-11, ПР-21, ПР-24, силовые распределительные пункты СУ9500 и групповые распределительные щитки серии СУ9400, осветительные щитки серий ОЩ и ОЩВ, ЩО, ЩОА, ЩОАУ (с уплотнением), УОЩВ и др.

Для силовых электроустановок находят применение шкафы станций управления ЩСУ и ЩУ, в которых на заводах по заказным схемам встраиваются блоки управления с магнитными пускателями, переключателями выбора схемы управления (автоматического или ручного), кнопочными постами, сигнальной арматурой и сборками зажимов. Ши-

рокая номенклатура щитов станций управления позволяет использовать их для управления самыми различными электроприводами.

Глава восемнадцатая

ЭЛЕКТРОПРОВОДКИ

18.1. УСТАНОВОЧНЫЕ ПРОВОДА

Электропроводки в жилых и общественных зданиях выполняются в основном незащищенными изолированными установочными проводами с алюминиевыми жилами, защищенными проводами, а также кабелями.

Наиболее распространенные марки проводов, выпускаемых нашей промышленностью, приведены в табл. 18.1.

Провода с медными жилами разрешается применять только во взрывоопасных помещениях классов В-I и В-Ia, кинопроекторных, выпрямительных, перемоточных, зрительных залах при числе мест 800 и более, на сценах, а также для гибких вводов к электродвигателям, установленным на виброоснованиях. Кроме того, по требованиям СНиП провода с медными жилами применяются для проводок в стиральных помещениях прачечных и химчисток.

Провода с медными жилами сечением до 1 мм² включительно применяются в цепях пожарной сигнализации, диспетчеризации, слабых токов, измерительных и некоторых других цепях автоматики.

Специальный провод нагревостойкий, с медными жилами, с изоляцией из кремнийорганической резины марки РКГМ сечением 0,75—120 мм² на 660 В применяется для подключения светильников и некоторых силовых электроприемников при повышенной температуре окружающей среды.

Выбор марки проводов. При выборе марки проводов следует учитывать, что в стандартах и технических условиях на провода указывается преимущественная область их применения, т. е. условия, для которых они предназначаются. Однако в практике строительства приходится прокладывать провода и в других условиях, а при выполнении скрытых проводок часто провода одной цепи на протяжении ее трас-

Таблица 18.1. Марки и основные характеристики проводов с алюминиевыми жилами, используемых в электрических сетях жилых и общественных зданий

Марка	Характеристика	Число жил	Сечение, мм ² , при напряжении		Преимущества и область применения
			380	660	
АПРГО	С резиновой изоляцией в оплетке из хлопчатобумажной пряжи, пропитанной противогнилостным составом	1, 2 и 3 7	—	2,5—120 2,5—10	Прокладка в нестораемых трубах
АПРН	С резиновой изоляцией в негорючей резиновой оболочке	1	—	2,5—120	Прокладка в сухих и сырых помещениях, в пустотных каналах нестораемых строительных конструкций и на открытом воздухе
АПРИ	С резиновой изоляцией, обладающей защитными свойствами	1	—	2,5—120	Прокладка в сухих и сырых помещениях
АПР	С резиновой изоляцией, не распространяющей горения, с раздельным основанием	2 и 4 3	—	2,5—10 2,5	Прокладка по деревянным основаниям и конструкциям жилых и производственных помещений, в том числе животноводческих и птицеводческих помещений
АПРФ	С резиновой изоляцией в фальцованной оболочке из сплава АМЦ	1, 2 и 3	—	2,5—4	Монтаж стационарных установок в электрических сетях переменного напряжения до 660 В

Продолжение табл. 18.1

Марка	Характеристика	Число жил	Сечение, мм ² , при напряжении		Преимущества и область применения
			380	660	
А-Т	С резиновой изоляцией с несущим тросом	2 3 4	2, 5 и 4 4 и 6 4—35	2, 5 и 4 4 и 6 4—35	Прокладка внутри помещений в сетях, где требуется повышенная механическая прочность
АПВ	С поливинилхлоридной изоляцией	1	2—120	2—120	Монтаж вторичных цепей, прокладка в трубах, пустотных каналах несгораемых конструкций и монтаж силовых и осветительных сетей
АПВВ	То же плоский с раздельными основаниям	2 и 3	2—3	—	Монтаж силовых и осветительных сетей в машинах и станках и волокнистая открытая прокладка
АВТ	С поливинилхлоридной изоляцией с несущим тросом	2 и 3	2,5—4	—	Наружная прокладка (для ввода в здание дома и хозяйственные постройки) в сетях переменного напряжения 380 В в I и II районах по гололеду

сы прокладываются в разных условиях. Так, например, во внутриквартирной проводке в стенах провода могут быть проложены под штукатуркой, но эти же провода при переходе в перекрытия проложены в пустотах, каналах, трубах и т. д. В таких случаях следует выбирать провода исходя из условий наиболее тяжелых и протяженных участков трассы, допуская на коротких участках отступления от рекомендаций по преимущественному применению проводов. Предпочтение при этом следует отдавать проводам с поливинилхлоридной изоляцией.

Рекомендации по области применения проводов в зависимости от вида проводки, способа прокладки проводов и характеристики окружающей среды даны в Указаниях по выбору и применению установочных электрических проводов.

18.2. КАБЕЛИ ДЛЯ ВНУТРЕННИХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

Кабели состоят из одной или более изолированных жил (проводников), заключенных, как правило, в металлическую или неметаллическую оболочку, поверх которой в зависимости от условий прокладки и эксплуатации может иметься соответствующий защитный покров, в который может входить броня.

Таблица 18.2. Марки кабелей напряжением до 1 кВ, рекомендуемых

Область применения	Число жил	Сечение, мм ²
Прокладка в помещениях (туннелях, каналах, полуктажах, коллекторах) и т. п.:	1, 2, 3 и 4	2,5—50; 2,5—240; 6—240
а) сухих		
б) сырых, частично затопляемых при наличии среды со слабой коррозионной активностью		
в) то же со средней и высокой коррозионной активностью		
Прокладка в пожароопасных помещениях	1, 2, 3 и 4	2,5—50; 2,5—240; 6—240

Номенклатура кабелей весьма значительна, и здесь мы отметим лишь некоторые марки, наиболее широко используемые во внутренних силовых и осветительных сетях гражданских зданий. Поскольку в этих зданиях применяются главным образом провода и кабели с алюминиевыми жилами, здесь отмечены лишь кабели с алюминиевыми жилами (табл. 18.2).

18.3. ПРОКЛАДКА ПИТАЮЩИХ И РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Выбор видов электропроводок, способов прокладки и характеристик проводов и кабелей должен производиться по табл. 18.3, заимствованной из ПУЭ. Однако, учитывая необходимость обеспечения противопожарной безопасности, ПУЭ предусматривают ряд дополнительных условий, исходя из которых вид проводки должен соответствовать указаниям табл. 18.4.

Ниже излагаются конкретные рекомендации по устройству электропроводок в жилых и общественных зданиях.

Электропроводки в жилых зданиях разделяются на питающие и групповые.

Прокладка питающих сетей от ВРУ к квартирам, для освещения лестниц, к лифтам и другим приемникам общедомового назначения осуществляется по техническому под- для прокладки в воздухе

С бумажной пропитанной изоляцией в металлической оболочке		С пластм. основой и резиновой изоляцией и оболочкой	
при отсутствии опасности механического повреждения	при наличии опасности механического повреждения	при отсутствии опасности механического повреждения	при наличии опасности механического повреждения
ААГУ, ААШВУ ААШВУ	ААБЛУ ААБЛУ	АВВГ, АВРГ, АНРГ	АВВБГ, АВРБГ, АВБШВ, АВШВ, АНРБГ
ААШВУ	ААБВГУ, ААБЛУ		
ААГУ, ААШВУ	ААБВГУ, ААБЛУ	АВВГ, АВРГ, АНРГ, АСРГ	АВВБГ, АВРБГ, АВБШВ, АСРБГ

Таблица 183. Выбор вида, способа прокладки проводов и кабелей

Способ прокладки	Характеристика проводов и кабелей	Условия окружающей среды
Открытые электропроводки		
На изолирующих опорах: на роликах и клин- гах изоляторов, а также на роли- ках, предназначенных для приме- нения в сырых местах	Провода незатененные одножиль- ные Провода двухжильные Провода незатененные одножиль- ные	В сухих и влажных помещениях В сухих помещениях В помещениях всех видов и наруж- ных установках; ролики для сырых мест (больших размеров) допускает- ся применять только в местах, где исключена возможность непосредст- венного попадания на электропровод- ку дождя или снега (под навесами)
Непосредственно на поверхности стен, потолков и на струнах, полосах и других несущих конструкциях	Кабели в неметаллической и ме- таллической оболочках	В наружных установках
Непосредственно на поверхности стен, потолков и на струнах, полосах и других несущих конструкциях	Провода незатененные и затенен- ные одно- и многожильные, кабели в неметаллической и металлической оболочках	В помещениях всех видов
На лотках и в коробах с откры- тыми крышками	То же	В помещениях всех видов и наруж- ных установках
На тросах	Специальные провода с несущим тросом Провода незатененные од- но- и многожильные Кабели в неметал- лической и металлической оболочках	В помещениях всех видов В наруж- ных установках — только специаль- ные провода с несущим тросом для наружных установок или кабелей
Открытые и скрытые электропроводки		
В металлических гибких рукавах. В стальных трубах (обыкновенных и тонкостенных) и глухих стальных коробах. В неметаллических трубах и неметаллических глухих коробах из трудноторасимых материалов. В тру- бах изоляционных с металлической оболочкой	Провода незатененные и затенен- ные одножильные и многожиль- ные. Кабели в неметаллической обо- лочке	В помещениях всех видов и наруж- ных установках. Исключения: 1. Запрещается применение изоля- ционных труб с металлической обо- лочкой в сырых, особо сырых поме- щениях и наружных установках. 2. Запрещается применение сталь- ных труб и стальных глухих коробов с толщиной стенок 2 мм и менее в сырых, особо сырых помещениях и в наружных установках
Скрытые электропроводки		
В неметаллических трубах из сто- ящих материалов (несамозатухаю- щих и негорючих и т. п.). В закладных картах строительных конструкций Под штукатуркой	Провода незатененные и затенен- ные одножильные и многожильные. Кабели в неметаллической оболочке	В помещениях всех видов и наруж- ных установках. Исключения: 1. Запрещается применение изоля- ционных труб с металлической обо- лочкой в сырых, особо сырых поме- щениях и наружных установках 2. Запрещается применение сталь- ных труб и стальных глухих коробов с толщиной стенок 2 мм и менее в сырых, особо сырых помещениях и наружных установках
Замощенная в строительных конструкциях при настилах	Провода незатененные	В сухих, влажных и сырых поме- щениях

Таблица 18.4. Выбор электропроводок по условиям пожарной безопасности

Электропроводки	Прокладка по основаниям и конструкциям		
	из сгораемых материалов	из трудносгораемых материалов	из негорючих материалов
Открытые электропроводки			
Незащищенные провода	На роликах, изоляторах или с подкладкой под провода негорючих материалов ¹	Непосредственно	Непосредственно
Защищенные провода и кабели в оболочке: из сгораемых материалов из трудносгораемых материалов из негорючих материалов	То же	То же	То же
	Непосредственно	»	»
	»	»	»
Трубы и короба: из сгораемых материалов из трудносгораемых материалов из негорючих материалов	Запрещается	Запрещается	Запрещается
	Запрещается	Непосредственно	Непосредственно
	Непосредственно	»	»
Скрытые электропроводки			
Незащищенные провода	С подкладкой негорючих материалов ¹ и последующим оштукатуриванием или защитой со всех сторон с помощью слоя негорючих материалов	Непосредственно	Непосредственно
Защищенные провода и кабели в оболочке:			
из сгораемых материалов	То же	То же	То же
из трудносгораемых материалов	С подкладкой негорючих материалов ¹	»	»
из негорючих материалов	Непосредственно	»	»
Трубы и короба: из сгораемых материалов из трудносгораемых материалов из негорючих материалов	Запрещается	Замоноличено, в бороздах и т. п. — в сплошном слое негорючих материалов ²	Непосредственно
	С подкладкой под трубы негорючих материалов ¹ и последующим заштукатуриванием ³	Непосредственно	Непосредственно
	Непосредственно	»	»

¹ Подкладка из негорючих материалов должна выступать с каждой стороны провода, кабеля, трубы или короба не менее чем на 10 мм.

² Сплошным слоем негорючего материала вокруг трубы (короба) может быть слой штукатурки, алебастрового, цементного раствора или бетона толщиной не менее 10 мм.

³ Заштукатуривание трубы осуществляется сплошным слоем штукатурки или алебастра толщиной не менее 10 мм над грубой

полую или подвалу открыто в винипластовых трубах¹, а также в коробах и лотках².

Трубы и лотки в подпольях и подвалах в зависимости от конструкции здания крепятся к стенам на скобах или кронштейнах или подвешиваются к перекрытиям. Ответвления в трубных проводках выполняются в металлических ответвительных коробках или протяжных ящиках. Трубы соединяются на муфтах или манжетах, допускаются сварные соединения.

Для экономии труб и уменьшения числа каналов в строительных конструкциях разрешается совместная прокладка в них проводов одного вида освещения (рабочего или эвакуационного) при числе проводов в трубе или канале не более двенадцати. При этом совместная прокладка взаимно резервируемых цепей, а также цепей рабочего и эвакуационного освещения запрещается. Допускается совмещение нулевых проводов питающих линий квартир и групповых линий лестничного освещения.

При большом числе параллельно прокладываемых труб их целесообразно монтировать блоками, изготовленными на заготовительных предприятиях монтажных организаций.

В случаях прокладки в технических подпольях и подвалах труб распределительных газопроводов выполнение в них электротехнических сетей должно соответствовать Указаниям по проектированию внутриквартирных инженерных коммуникаций в коллекторах, технических подпольях, технических коридорах и подвалах.

Подъем проводов линий (стояков), питающих квартиры и освещение лестниц и поэтажных коридоров, осуществляется скрыто в каналах стен лестничной клетки или поэтажных коридоров. Прокладывать стояки внутри квартир не рекомендуется ввиду практической недоступности их для ремонта. Не разрешается совместная прокладка в общем канале сетей сильных и слабых токов. В этих же стенах устанавливаются поэтажные щитки и шкафы для питания квартир и разветвления сетей слабых токов. В кирпичных зданиях каналы и ниши для установки щитков выполняются

¹ Открытая прокладка винипластовых труб в зданиях выше 10 этажей и более запрещается.

² Прокладка на лотках незащищенных изолированных проводов в технических подпольях разрешается при отсутствии в них газопроводов, относительной влажности не более 65% и в тех случаях, когда в подпольях имеет доступ только обученный персонал. Высота прокладки проводов в этом случае не нормируется.

ся в процессе строительства здания при помощи инвентарных труб и шаблонов.

В крупнопанельных и крупноблочных зданиях каналы для подъема электрических сетей и ниши для щитков выполняют в специальных бетонных электроблоках или электропанелях.

Пример строительного задания на электроблок дан на рис. 18.1. Электроблоки и электропанели изготавливаются на заводах в металлических формах; каналы и ниши образуются в них при помощи инвентарных труб и шаблонов.

Линии, питающие лифты, прокладываются в каналы электропанелей или в шахтах лифтов, а также в специальных совмещенных блоках, предназначенных для прокладки инженерных коммуникаций¹. При питании нескольких лифтов магистраль прокладывается ко второму и последующим лифтам по чердаку в трубах. В некоторых случаях прокладка по чердаку между секциями дома затруднена и осуществляется по техническому подполью. Кроме того, в отдельных каналах электропанелей прокладываются сети телевидения и радиотрансляции. Ни в коем случае нельзя совмещать в одном канале, трубе, коробе и с другими сетями линии питания и управления всех видов противопожарных устройств. Их следует прокладывать в отдельных каналах, коробах, трубах.

При установке светильников на промежуточных площадках в лестничной клетке провода для их питания прокладывают скрыто под штукатуркой, в каналах или замо-

¹ Для многэтажных зданий последнее решение следует считать предпочтительным.

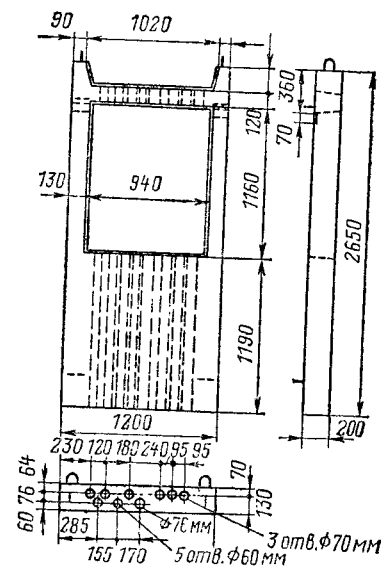


Рис. 18.1. Общий вид железобетонного электроблока

поличивают в стене и лестничной площадке. Провода сети освещения технических подполий и подвалов в зависимости от конструкции перекрытия могут прокладываться скрыто в каналах либо открыто в трубах.

Следует отметить, что в крупнопанельных бескаркасных зданиях техническое подполье или подвал пересекает большое число опорных железобетонных стен, затрудняющих прокладку электрических сетей и осложняющих усвоение электрического освещения. В этих стенах предусматриваются проемы для прокладки электрических, а также санитарно-технических сетей. Для прокладки питающих и общедомовых групповых сетей в трубах и каналах обычно применяют провода марок АПВ, АПРН, реже АПРТО, а в групповых сетях освещения также АППВ. Для освещения технических подполий, подвалов и чердаков следует применять светильники в защищенном исполнении с лампами накаливания, а при наличии газопроводов трубы, в которых проложены провода, должны соединяться на резьбе, выключатели должны выноситься из этих помещений.

Групповые электрические сети квартир состоят из подводки питания к светильникам общего освещения помещений, к штепсельным розеткам для присоединения светильников местного освещения и бытовых приборов, а в домах с электроплитами — к электроплитам.

В жилых комнатах светильники (люстры) общего освещения подвешивают, как правило, на потолке в центре комнаты. В глубоких комнатах светильник общего освещения часто смещают от центра. По мнению авторов, в спальнях комнатах малого размера (до 10 м²) в случаях затруднений с прокладкой проводов в перекрытиях можно для общего освещения допустить установку настенных светильников. В жилых комнатах площадью 12 м² и более предусматривается возможность установки многоламповых светильников с включением ламп двумя группами, для чего к светильнику прокладывается три провода и устанавливается двоярный выключатель или переключатель.

В кухнях малого размера, передних, ванных комнатах и уборных светильники могут устанавливаться на потолке или стене. В кухнях целесообразно предусматривать розетки для установки дополнительного светильника над рабочим столом хозяйки либо встроенного в кухонную мебель, а также подключения надплитного фильтра.

При строительстве жилых домов для комнат, кухонь и передних предусматривают установку только подвесных

или стеновых патронов, учитывая, что при въезде в квартиру жильцы устанавливают бытовые светильники по своему выбору. В этих помещениях проектами предусматриваются в месте выхода проводов из перекрытия подвеска патрона и установка крюка для светильников. В жилых комнатах разрешается вместо подвесных патронов устанавливать набор зажимов для подсоединения люстры или другого бытового светильника, а в кухне — набор зажимов и подвесной патрон, подключаемый к этим зажимам.

В ванных комнатах и уборных светильники с лампами накаливания и патроны должны быть из изолирующего материала. В ванных комнатах следует применять осветительную арматуру с защитным стеклом и с заглубленным патроном или патроном с высоким изолирующим кольцом. При установке светильников с люминесцентными лампами они должны иметь специальную конструкцию патрона, исключаящую прикосновение к токоведущим частям.

Штепсельные розетки в помещениях следует устанавливать с учетом вероятного размещения мебели и наиболее удобных мест подключения электрических приборов. В общей комнате желательно устанавливать одну или две двойные розетки для присоединения приборов без увеличения протяженности сети. Широко применяются также надплитные штепсельные розетки. Высота установки розеток не регламентируется.

Выключатели для светильников общего освещения в жилых комнатах устанавливают внутри у входа в комнату; для светильников в ванной комнате и уборной выключатели должны располагаться снаружи — в передней или коридоре. Настенные выключатели размещаются на высоте 1,5 м.

Светильники в санузлах размещают так, чтобы проводка в стенах этих помещений была наименьшей длины и располагалась в удалении от труб водопровода и канализации.

Подпотолочные выключатели с управлением шнурком целесообразно применять в случаях, когда конструкции или технология изготовления стеновых панелей затрудняют применение настенных приборов для утопленного монтажа.

Способы скрытой прокладки групповой сети в квартирах, поэтажных коридорах, вестибюлях и других сухих помещениях жилых домов выбирают в зависимости от конструкции стен, перегородок, перекрытий и полов. В кирпичных и шлакобетонных оштукатуренных стенах проводка выполняется специальными проводами непосредственно под слоем штукатурки. В стенах из крупных бетонных бло-

ков проводка выполняется в швах между блоками. Отдельные участки проводок выполняются в штрабах.

В гипсобетонных сборных стенах и перегородках из отдельных плит провода прокладывают в бороздах, выполненных при изготовлении плит или на месте строительства, с заделкой провода штукатурным или гипсовым раствором. В кирпичных, шлакобетонных, бетонных стенах и гипсобетонных сборных стенах и перегородках ниши для установки разветвительных коробок и под выключатели и штепсельные розетки выполняют фрезерованием специальной коронкой к электродрели. Борозды выполняют также фрезерованием с помощью электродрели и специального приспособления или с помощью пневматического молотка. В гипсобетонных стеновых панелях «на комнату» провода прокладывают в каналах или закладывают в толщу панели при ее изготовлении (замоноличивание).

В перекрытиях из сборных многопустотных железобетонных плит провода прокладывают в пустотах плит или в неметаллических трубах, уложенных поверх плит перекрытия в подготовке пола. Наиболее экономичен первый способ, но применение его не всегда целесообразно из-за несовпадения направлений пустот и трассы проводки.

При выполнении полов из линолеума, когда поверх плит перекрытия часто имеется лишь тонкий выравнивающий слой подготовки, для выхода проводов к соответствующему отверстию плиты приходится выполнять обход проводки по стенам. Применявшаяся ранее прокладка алюминиевых проводов в подготовке пола (если она имеется) поверх перекрытия с заливкой цементным раствором на практике себя не оправдала из-за необходимости применения мокрого процесса, невозможности смены проводки в эксплуатации и недостаточной защиты проводок на время проведения работ по укладке пола.

В железобетонных сплошных панелях стен и перекрытий (в крупнопанельных зданиях) провода прокладывают в каналах, образуемых при изготовлении плит, или замоноличивают их в этих плитах. Устройство скрытой проводки в таких панелях с глухой заделкой (замоноличиванием) установочных проводов с алюминиевыми жилами в теле железобетонных панелей в случаях повреждения проводов в процессе монтажа или эксплуатации приводит практически к переходу на открытую прокладку. Поэтому такой способ прокладки допускается лишь в случаях серьезных технологических затруднений в выполнении каналов в же-

лезобетонных плитах. Кроме того, применение замоноличенных проводок допускается с некоторыми ограничениями. В частности, их запрещается закладывать в конструкции, если бетон имеет добавки, вредно действующие на изоляцию и жилы проводов (алюминат натрия, поташ и т. д.). Тепловая обработка при температуре не более 100 °С панелей должна продолжаться не более 24 ч. В настоящее время замоноличенная проводка сохраняется еще при прокатном способе производства железобетонных конструкций.

Основным затруднением в применении канальной системы прокладки проводов в крупнопанельном строительстве в настоящее время является то, что по технологическим причинам как при кассетном, так и при прокатном способах изготовления панелей не всегда возможно образование протяжных прямых каналов без закладки труб, оставляемых в панелях. Чтобы избежать этого, прокладка проводов осуществляется по зигзагообразной трассе, состоящей из наклонных и поперечных каналов. Кроме того, находят применение каналы в плитах перекрытия посередине комнат с выходами к выключателям и штепсельным розеткам в наклонных каналах панелей стен. С развитием производства дешевых пластмассовых труб канальная система проводки с закладкой этих труб в панели найдет более широкое применение.

На рис. 18.2 приведены примеры устройства каналов в панелях стен и перекрытий, а на рис. 18.3 — узлы установки штепсельных розеток в стеновых панелях.

Следует отметить, что описанные выше виды проводок имеют серьезный недостаток, заключающийся в строго фиксированном расположении штепсельных розеток, что часто затрудняет расстановку мебели и вызывает нарекания жильцов, применение различных удлинителей и разветвителей, не безопасных для людей. Указанные недостатки могут быть устранены при прокладке проводов в электротехническом плинтусе из трудногорючей пластмассы.

В специальных электротехнических плинтусах провода прокладывают вдоль стен помещений у пола. Такие плинтусы позволяют проложить скрыто не только провода освещения и подключения бытовых приборов, но и сети телефона, радиотрансляции и телевидения; свести к минимуму число и длину каналов в панелях стен и перекрытий; в эксплуатации легко изменить расположение и установить дополнительные штепсельные розетки, место расположения телефона, телевизора и репродуктора радиотрансляции.

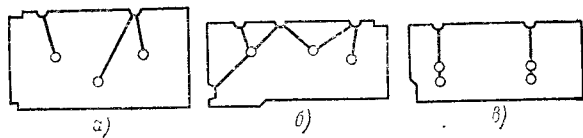


Рис. 18.2. Примеры выполнения каналов в железобетонных панелях перегородок (а и б) и стеновых панелях (в)

Система прокладки проводов в электротехнических плинтусах в сочетании с прокладкой проводов общего освещения в каналах наиболее подходит для жилых домов, строящихся из унифицированных конструкций по единому каталогу. Один из вариантов конструкций пластмассового электротехнического плинтуса на четыре канала представлен на рис. 18.4.

Для огнивания дверных проемов используется пластмассовый наличник (рис. 18.5). В настоящее время внедряются способы крепления плинтусов и наличников путем пристрелки, высверливания отверстий в железобетоне с помощью ударно-вращательного инструмента, заделки специальными скобами для навешивания плинтуса, приклеивания специальным клеем. Эти способы следует считать перспективными.

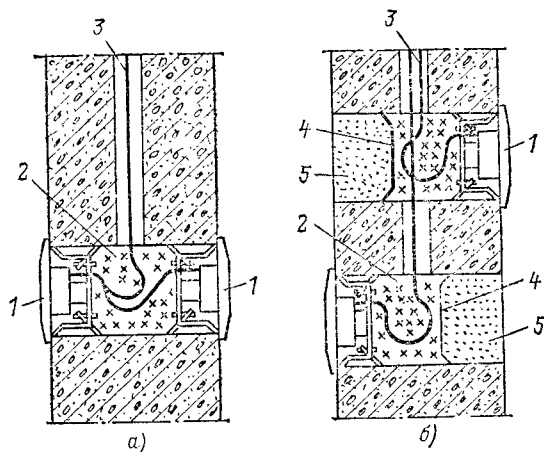


Рис. 18.3. Узлы установки штетсельных розеток в стеновых панелях для межкомнатной (а) и межквартирной (б) перегородок:

1 — штетсельная розетка; 2 — негорючий минераловатный заполнитель; 3 — провод; 4 — круглая стальная заглушка; 5 — заделка цементным раствором

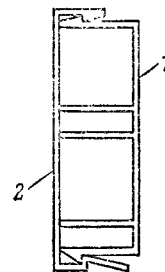


Рис. 18.4. Электротехнический пластмассовый плинтус:

1 — основание; 2 — крышка

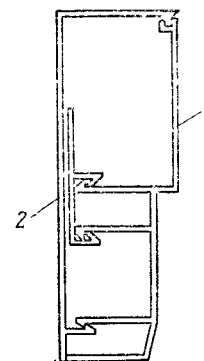


Рис. 18.5. Электротехнический пластмассовый наличник:

1 — основание; 2 — крышка

Фрагмент устройства плинтусной проводки одной из зарубежных фирм приведен на рис. 18.6.

Для подводки питания к подвесным светильникам, устанавливаемым в жилых комнатах квартир при тонкостенной конструкции перекрытия, заслуживает внимания применяемый за рубежом способ открытой свободной подвески под потолком двухжильного или трехжильного провода в общей пластмассовой оболочке. Такой способ подводки питания

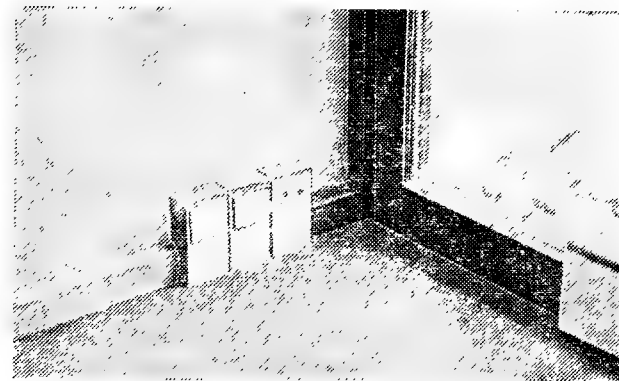


Рис. 18.6. Фрагмент установки электротехнического плинтуса в комплекте с электроустановочными изделиями

позволяет также в случае необходимости изменять в эксплуатации место расположения светильника в комнате, установив заранее крюки в соответствующих местах на потолке.

В многоэтажных зданиях из монолитного железобетона можно рекомендовать устройство электропроводок в пластмассовых трубах, закладываемых совместно со всеми конструктивными изделиями (коробки, крючки для крепления светильников) в толщу бетона при сооружении здания а также плинтусную электропроводку.

В зданиях из деревянных и других сгораемых конструкций наиболее простым решением следует считать открытую проводку на роликах или кликах.

Электропроводки в общественных зданиях. Наличие разветвленных и протяженных силовых и осветительных сетей, а также самых различных архитектурно-планировочных и технологических решений в зависимости от назначения зданий и помещений вызывает большие трудности в создании унифицированных электропроводок.

Вместе с тем при строительстве ряда зданий различного назначения (школы, детские учреждения, поликлиники, гостиницы, учебные корпуса профтехучилищ и т. п.) будут применяться в перспективе крупнопанельные конструкции перекрытий полной заводской готовности, включая полы. В этих зданиях практически исключена возможность прокладки электросетей в подготовке пола данного или вышележащих этажей, которая в настоящее время широко применяется.

В связи с этим начато применение системы коробов из металла и пластмасс в надлежащем эстетическом оформлении, предназначенных для прокладки всех видов электрических сетей. Кроме того, в некоторых зданиях используются разработанные для производственных зданий шинопровод ШОС и короб типа КЛ и другие, в которых прокладываются провода осветительных сетей. Для этих же целей нашел применение однофазный шинопровод. В ряде случаев для прокладки питающих линий используются распределительные промышленные шинопроводы типа ШРА. Следует отметить, что применение коробов (особенно со штепсельными соединениями) повышает индустриализацию монтажных работ и резко упрощает смену проводки и светильников. Таким образом, намечается постепенный переход от скрытых электропроводок к открытым.

Остановимся на некоторых наиболее распространенных

видах электропроводок, применяемых в общественных зданиях.

Питающие линии следует, как правило, выполнять сменяемыми: а) открыто — в винипластовых трубах, коробах из негорючих материалов, а также не бронированными кабелями. Могут применяться открытые прокладки на лотках в технических подпольях, этажах, подвалах при условии, что в этих помещениях не проложены трубопроводы с горючими газами и жидкостями и доступ в эти помещения имеет только квалифицированный персонал. В этом случае высота расположения лотков ПУЭ не регламентируется. В помещениях без повышенной опасности, куда могут иметь доступ посторонние лица (при напряжении сети выше 42 В), лотки следует располагать на высоте не менее 2 м, а в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных — не менее 2,5 м;

б) скрыто — в каналах строительных конструкций без труб¹, в пластмассовых трубах и коробах.

В некоторых зданиях устраиваются специальные шахты с поэтажными перекрытиями, в которых устанавливаются этажные распределительные пункты и групповые щитки и прокладываются вертикальные участки питающих линий. Для входа в шахты на этажах имеются запирающиеся двери.

Следует иметь в виду, что пластмассовые трубы как при открытой, так и при скрытой проводке могут применяться с некоторыми ограничениями, которые должны учитываться при проектировании.

В целях экономии стальных труб нормы разрешают их использование лишь в тех случаях, когда применение пластмассовых труб запрещено, а также в некоторых случаях, оговоренных в Инструкции по проектированию электрооборудования общественных зданий массового строительства.

Групповые сети электрического освещения должны, как правило, выполняться скрытыми сменяемыми в каналах и пустотах строительных конструкций, а при отсутствии такой возможности — в пластмассовых трубах.

Осветительные проводки в небольших общественных зданиях могут выполняться скрытыми специальными проводами, не подлежащими замене, непосредственно по негорючим материалам.

¹ Устройство каналов в строительных конструкциях для общественных зданий ограничено необходимостью изготовления большого количества марок железобетонных изделий.

раемым основаниям, в бороздах, швах строительных конструкций, под штукатуркой и т. д.

В технических подпольях, подвалах, на чердаках, в сосновых и тепловых пунктах, а также в деревянных зданиях проводки могут выполняться открыто с соблюдением требований табл. 18.1 и 18.2.

В помещениях без повышенной опасности осветительные сети прокладываются также в пластмассовых и металлических коробах, в пластмассовых электротехнических плинтах, а также скрыто в получивших в последнее время распространение сборно-разборных перегородках в металлических вагонах или других трубах.

В общественных зданиях часто применяются подвесные потолки, за которыми прокладываются санитарно-технические и электротехнические коммуникации. В эти потолки, как правило, встраиваются светильники специальных конструкций. Электропроводки в полостях над непроходными подвесными потолками выполняют:

при подвесных потолках из негорючих материалов — в стальных трубах;

при подвесных потолках из негорючих и труднотгораемых материалов — в винилпластовых трубах, металлорукавах или без труб, но защищенными проводами и кабелями. Проводки в полостях над потолками рассматриваются как скрытые.

Выключатели для общего освещения устанавливаются на высоте 1,5 м от пола, и в помещениях для пребывания детей — 1,8 м.

Выключатели для пожароопасных и взрывоопасных помещений, сырых и влажных, целесообразно выносить из этих помещений. Это же относится к кладовым, складам и другим помещениям с материальными ценностями.

Установка штепсельных розеток в сети освещения определяется интерьером помещения и удобством пользования, но не должна превышать 1 м от пола. В школах и детских учреждениях в помещениях для пребывания детей розетки устанавливаются на высоте 1,8 м от пола. В ванных комнатах, душевых и преддушевых штепсельные розетки устанавливаться не должны, за исключением ванных комнат при условии подключения розеток через разделяющий трансформатор.

Силовые распределительные сети могут прокладываться в зависимости от назначения помещений скрыто или открыто теми же способами, которые указаны для осветительных

сетей. При установке технологического оборудования посередине помещения подводка питания к этим электроприемникам может выполняться в пластмассовых трубах, а на выходе из пола — в гильзах из стальных труб.

18.4. ЭЛЕКТРОУСТАНОВОЧНЫЕ УСТРОЙСТВА И ЭЛЕКТРОМОНТАЖНЫЕ ИЗДЕЛИЯ

В настоящее время применяется широкий ассортимент электроустановочных и электромонтажных изделий, изготавливаемых промышленностью как для жилищно-гражданского, так и для промышленного строительства.

Электроустановочные устройства. В помещениях, где проводка выполняется скрытой, как правило, применяют выключатели и штепсельные розетки для скрытого монтажа. Исключение составляют подпотолочные выключатели с управлением шнурком (рис. 18.7, а) и надплинтусные штепсельные розетки (рис. 18.7, б), изготавливаемые только для открытой установки. Они имеют удлиненный корпус для выполнения в нем разветвлений проводов. Надплинтусные штепсельные розетки имеют защитные устройства (шторки), которые закрывают штепсельные гнезда при вынутой вилке.

Часто в квартирах двери из прихожей в кухню, ванную комнату и уборную расположены рядом. В таких случаях целесообразно управление освещением этих помещений, а также установку штепсельной розетки совместить в одном приборе — блоке с выключателями и штепсельной розеткой. Блоки изготавливаются на два и три выключателя и одну штепсельную розетку (рис. 18.8) и на четыре выключателя.

В сетях, предназначенных для освещения, выключатели применяются на токи 4 и 6 А. Наиболее удобны и долговечны клавишные выключатели с металлокерамическими контактами. Для присоединений стационарных электрических плит применяются силовые двухполюсные штепсельные розетки на 25 и 40 А с заземляющим контактом для открытой установки. В осветительных установках применяются штепсельные соединения с цилиндрическими контактами в основном на 6 А. Рост единичной мощности электробытовых приборов вызывает необходимость применения в квартирах розеток на 10, 16, 25 и 40 А. В перспективе целесообразно перейти на установку в квартирах штепсельных соединений

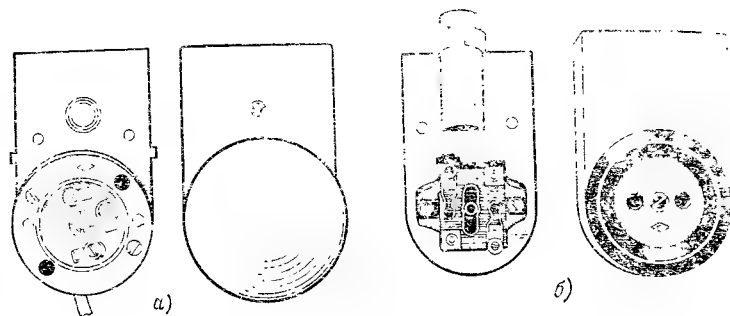


Рис. 187. Подпотолочный выключатель (а) и надплитусная штепсельная розетка (б)

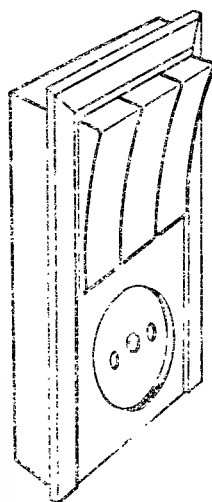


Рис. 188. Блок на три выключателя и одну штепсельную розетку

с плоскими контактами, уже широко применяемыми в общественных зданиях. Однако переход этот должен осуществляться по плану, с одновременным переходом на выпуск электроприборов с соответствующими вилками. На рис. 18.9 показаны штепсельная розетка и вилка на ток 25 А для подключения электроплиты (открытой установки). Имеется модификация такой розетки скрытого исполнения. Планируется выпускаться штепсельные розетки на ток 6 А с комбинированными гнездами, позволяющими включать вилку с круглыми или плоскими штырями.

Блоки на несколько выключателей и розеток очень удобны для применения в общественных зданиях, например школах, административных зданиях, гостиницах, поскольку при этом уменьшается время монтажа, улучшается внешний вид изделий по сравнению с группой одиночных изделий.

В некоторых помещениях требуется установка штепсельных соединений в защищенном исполнении. Такое соединение с сальниковым уплотнением для ввода проводов и крышкой с пружиной у розетки показано на рис. 18.10.

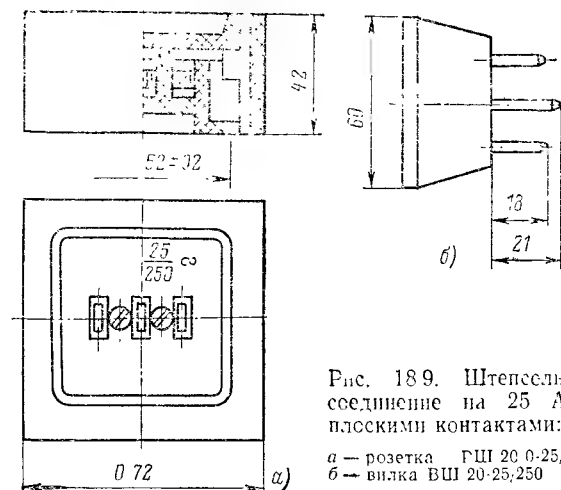


Рис. 189. Штепсельное соединение на 25 А с плоскими контактами:

а — розетка ГШ 20-0-25, 250;
б — вилка ВШ 20-25, 250

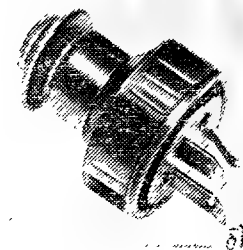
Для плитусных электропроводок целесообразно применять специальные штепсельные розетки, встраиваемые или приставляемые к плитусу.

Электромонтажные изделия. Для установки выключателей и розеток в стенах при скрытой проводке широко ис-



Рис. 18.10. Штепсельное соединение с плоскими контактами защищенное IP 13:

а — розетка; б — вилка



используются металлические коробки с отверстиями для проводов и для закрепления в них ланок электроизоляционных изделий. Эти же коробки часто используются в качестве разветвительных, имеются и разветвительные коробки специальной конструкции. Имеются коробки из пластмассы, чаще всего из карболита. Для скрытой установки выключателей и интенсивных розеток в стенах кирпичных зданий применяются закладные стаканы из полипропилена, устанавливаемые в панели на заводах строительной индустрии. Эти стаканы предназначены для двухсторонней установки электроустановочных устройств, поэтому в межквартирных перегородках их применять нельзя. Для изоляции мест соединения алюминиевых проводов удобны полиэтиленовые изолирующие колпачки, выпускаемые в массовом порядке.

Для подвешивания бытовых светильников выпускают крюки различных конструкций. Крюки должны быть рассчитаны на пятикратный вес люстры. Для оформления отверстий в стенах и потолках, используемых для соединения проводов, изготавливаются пластмассовые декоративные крышки светлых тонов.

Раздел шестой

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Глава девятнадцатая

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ

В жилых и общественных зданиях устройствами автоматики оснащаются различные вентиляционные системы: установки кондиционирования воздуха, системы дымоудаления, различные насосные агрегаты, освещение, различные технологические оборудование и т. п.

В зависимости от выполняемых функций различают следующие основные виды автоматизации: управление, сигнализация, блокировка, контроль, защита и регулирование.

Управление представляет собой совокупность воздействий, выполняемых на основании определенной информации, имеющих целью поддержание или улучшение функционирования объекта (агрегата, станка, механизма и т. д.) в соответствии с заданной программой или поставленной задачей.

Принято различать управление *автоматическое* и *полуавтоматическое*.

При автоматическом управлении команды управляемому объекту подаются специальными устройствами, которые работают либо по заранее заданной программе, либо в зависимости от контролируемых параметров, отклонение которых от заданных значений требует подачи соответствующих команд управляемому объекту.

При полуавтоматическом управлении те же функции выполняются с участием человека.

Простейшим примером автоматического управления может служить управление освещением общедомовых помещений жилых и гражданских зданий в функции естественной освещенности и времени (см. гл. 20). Если управление освещением производится человеком с помощью различных аппаратов (кнопки, ключи, магнитные пускатели и т. д.), оно называется полуавтоматическим.

Полуавтоматическое управление бывает местное и дистанционное. В первом случае аппараты управления располагаются в непосредственной близости от управляемого объекта, во втором — на любом расстоянии от него.

Сигнализация — извещение обслуживающего персонала световыми или звуковыми сигналами о состоянии контролируемых объектов, параметров и их отклонениях от заданных состояний или значений. Сигнализация делится на два вида — *технологическую* и *аварийную*. Технологическая предназначена для оповещения обслуживающего персонала об изменениях в процессах, предусмотренных технологией. Аварийная служит для оповещения обслуживающего персонала о различных аварийных ситуациях и отклонениях в технологическом процессе, требующих его вмешательства.

Обычно аварийная сигнализация состоит из световых и звуковых сигналов. Технологическая может иметь только световые сигналы или сочетание световых и звуковых, но

отличных от аварийных звуковых (например, сирена и звон).

Примером технологической и аварийной сигнализации может служить общепринятая схема оповещения о снижении температуры теплоносителя после калориферов в вентиляционных установках и системах кондиционирования воздуха. При температуре теплоносителя (горячей воды) ниже $20-25^{\circ}\text{C}$ загорается сигнальная лампа на световом табло с надписью «Низкая температура». Если в течение $30-40$ с температура не повышается, то происходит отключение системы и одновременно подается звуковой сигнал и загорается красная лампа, сигнализирующая об аварии. Таким образом, в рассмотренном примере первый сигнал относится к технологической сигнализации, а второй — к аварийной.

Блокировка — взаимосвязь отдельных агрегатов или механизмов в процессе их эксплуатации. Устройства блокировки позволяют осуществлять взаиморезервирование агрегатов, связь различных агрегатов в группы и т. д. Например можно заблокировать два насоса таким образом, что при остановке рабочего автоматически включится резервный.

Контроль автоматический — автоматическое получение и обработка информации о состоянии объекта с целью выявления событий, определяющих управляющее воздействие.

Под событием подразумевается то явление, которое необходимо зафиксировать, например КЗ или перегрузка в электрической цепи, повышение или понижение значения температуры, давления, уровня и т. д.

Контроль является важным элементом любой системы автоматики, так как он позволяет обслуживающему персоналу или специальным автоматическим устройствам своевременно ликвидировать отклонения в технологическом процессе и обеспечивать его нормальный ход.

Контроль бывает *местный* и *дистанционный*. Местный обеспечивает возможность наблюдения за состоянием параметров непосредственно в контролируемой точке. Дистанционный обеспечивает возможность наблюдения за состоянием параметров на некотором расстоянии от контролируемой точки.

Автоматическая защита служит для прекращения контролируемого процесса при возникновении аномальных режимов. Часто один и те же приборы и аппараты выполняют функции сигнализации и защиты, как это имело место в приведенном примере аварийной сигнализации при сни-

жении температур за калорифером, когда одновременно с подачей аварийного сигнала автоматически отключается вся система.

Автоматическая защита является разновидностью автоматического управления. Ее действия всегда связаны с органами управления (клапанами, задвижками, выключателями, контакторами и т. д.), на которые она воздействует.

Автоматическое регулирование служит для поддержания в определенных пределах или на постоянном уровне того или иного параметра (например, температуры, давления, расхода, уровня, напряжения, тока и т. д.) либо для обеспечения протекания производственного процесса по заданной программе. Автоматическое регулирование также можно рассматривать как разновидность автоматического управления.

Все приборы автоматики условно можно разделить на следующие группы: измерительные приборы и датчики, преобразователи и усилители, исполнительные механизмы и регулирующие органы. Однако четких границ между этими группами провести нельзя, так как часто в одном приборе могут совмещаться функции, например, датчика и преобразователя или измерительного прибора и усилителя и т. д.

В основе современных измерительных приборов лежат электрические измерения, обеспечивающие преобразование различных неэлектрических величин (температуры, давления, уровня, расхода и т. д.) в электрические (напряжение, ток, сопротивление и др.). Электрические измерения с помощью сравнительно простых и дешевых приборов позволяют получить высокую точность измерений, возможность измерения на расстоянии и автоматически. В системах автоматического управления и регулирования используется возможность воздействия измерительного устройства на различные машины и аппараты. Измерения, главным образом автоматические, находят применение во всех отраслях промышленности, энергетике и т. д. В жилищно-коммунальном хозяйстве наибольшее распространение получили теплотехнические измерения. К ним относятся измерения температуры, давления, расхода и ряда других величин, имеющих важное значение в процессе эксплуатации оборудования.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОСВЕЩЕНИЯ

20.1. ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ОСВЕЩЕНИЕМ

Задача автоматизации управления освещением общественных помещений в жилых и общественных зданиях является актуальной; ее применение приводит к значительной экономии электроэнергии. В настоящее время разработаны и широко внедряются следующие системы управления освещением лестниц и поэтажных коридоров в жилых домах:

- 1) включение освещения с помощью кнопочных автоматических выключателей с выдержкой времени на отключение (децентрализованное управление);
- 2) управление с помощью фотовыключателей (централизованное управление на одно здание);
- 3) управление с помощью фотовыключателей и реле времени (централизованное программное управление на одно здание);
- 4) управление с диспетчерского пункта ДЭС (РЭУ) или микрорайона (централизованное управление).

Схемы автоматизации освещения в различных общественных зданиях обеспечивают, как правило, дистанционное централизованное или децентрализованное управление группами светильников. Однако в некоторых зданиях применяется автоматическое управление. Так, например, в школах на время уроков автоматически отключается часть освещения рекреаций, коридоров и некоторых других помещений. В театрах, кинотеатрах, концертных залах и т. п. осуществляется автоматическое постепенное снижение уровня освещенности до полного отключения освещения в начале действия и, наоборот, постепенное увеличение освещенности до полного после окончания действия.

20.2. УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

В целях экономии электроэнергии в настоящее время Госкомитет по архитектуре и градостроительству предлагает всем проектным организациям предусматривать управление рабочим освещением лестничных клеток, имеющих естественное освещение, устройствами для включения и выключения в течение суток. Эти устройства устанавливаются на входе в лестничную клетку или часть этажей многоэтажных жилых домов. Эти же

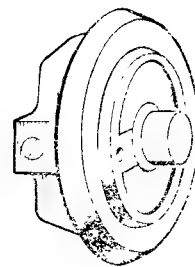
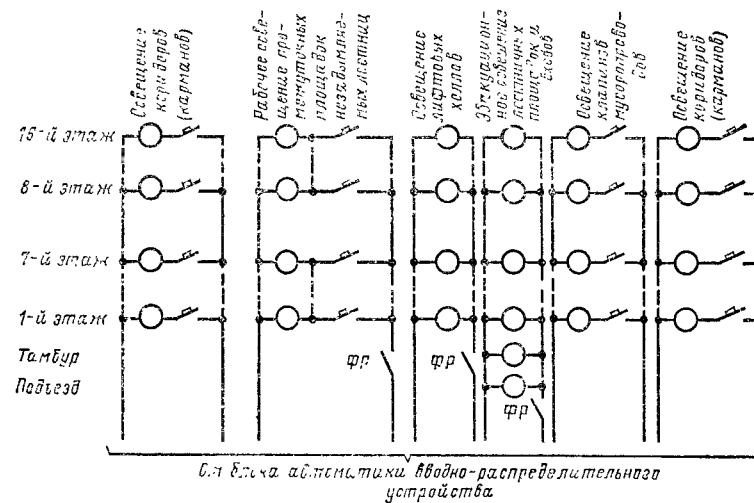


Рис. 20.1. Кнопочный выключатель АВ-2

Рис. 20.2. Схема управления лестничным освещением с помощью выключателя АВ-2



устройства должны устанавливаться для управления освещением поэтажных карманов и коридоров, площадок перед мусоросбросами. Освещение лифтовых холлов, подъездов и входов должно во всех случаях оставаться включенным в течение всего темного времени суток. Одним из устройств, используемых для этой цели, является приведенный на рис. 20.1 кнопочный выключатель АВ-2, включающий освещение на 2—3 мин. Выдержка времени обеспечивается специальным пневматическим устройством, представляющим собой резиновую мембрану, которая изгибается при нажатии кнопки и постепенно выпрямляется, продавливая воздух через калиброванное отверстие в корпусе. На рис. 20.2 приведена для примера одна из рекомендуемых схем для

зданий высотой 11—16 этажей. Как видно из схемы, освещение лифтовых холлов, эвакуационное освещение лестничных площадок и входов, а также тамбур и подъезд включаются контактами фотореле ΦP , установленными в блоке автоматики вводно-распределительного устройства.

Эта схема имеет ряд недостатков, из которых отметим следующие: значительный перерасход проводов, установка дополнительных аппаратов защиты на ВРУ, определенные неудобства для жильцов, некоторое удорожание системы управления освещением и ее монтажа.

Госкомитет по архитектуре и градостроительству допускает при соответствующем технико-экономическом обосновании применять до 1990 г. схемы управления рабочим освещением без устройств кратковременного включения.

Широкое применение для зданий, сооружаемых в крупных городах, находит система централизованного управления фотовыключателями, включающими освещение лестничных площадок коридоров с естественным освещением, входы в подъезды с наступлением темноты и отключающими его с рассветом. Эта же схема может быть использована для управления наружным освещением при установке светотехники на фасадах домов и питаемых от внутренней сети здания.

В домах повышенной этажности (9, 10 этажей и более), в которых наряду с рабочим лестничным освещением имеется еще и эвакуационное, целесообразно в ночные часы, например от часа ночи до шести утра, отключить часть освещения. Для этой цели в схему управления вводится специальное программное реле времени 2РВМ с часовым механизмом, что позволяет сэкономить до 30 % электроэнергии, расходуемой на освещение лестниц.

В последние годы в связи с внедрением в крупных городах объединенных диспетчерских служб (ОДС) широкое применение находят схемы централизованного дистанционного управления. На диспетчерском пункте устанавливается фотовыключатель, который в зависимости от естественной освещенности подает импульс на включение или отключение освещения лестничных клеток всех домов микрорайона.

При централизованном управлении необходимо считаться с потерями напряжения в линиях, так как в больших микрорайонах расстояние от диспетчерского пункта до самого отдаленного дома может достигать 1—2 км и более.

Для надежного срабатывания реле, выпускаемых серийно промышленностью, необходимо обеспечить уровень на-

пряжения на его катушке не менее 85 % номинального. Поэтому сети дистанционного управления должны быть рассчитаны из условия допустимой потери напряжения в размере 15 %.

Потеря напряжения, %, в сети дистанционного управления может определяться по формуле

$$\Delta U = \frac{\alpha I_{p.k} R_{\Sigma}}{U_{ном}} 100, \quad (20.1)$$

где α — доля номинального напряжения катушки, необходимая для надежного срабатывания (обычно $\alpha = 0,85$); $I_{p.k}$ — номинальный рабочий ток катушки, А; R_{Σ} — сопротивление линии, Ом; $U_{ном}$ — номинальное напряжение сети, В.

Если сеть дистанционного управления выполняется телефонным кабелем с медными жилами диаметром 0,5 мм, а источник питания имеет напряжение 48 В постоянного тока и номинальное напряжение катушки реле также 48 В, то потеря напряжения может быть определена по формуле

$$\Delta U = 337 I_{p.k} l, \quad (20.2)$$

где l — длина линии в один конец, км.

Определим наибольшую длину линии при включении реле МКУ-48 с катушкой сопротивлением $R_k = 4600$ Ом.

Рабочий ток катушки определяется из выражения

$$I_{p.k} = U/R_k = 48/4600 = 0,0104 \text{ А.}$$

Тогда максимальная длина по формуле (20.2)

$$l = \Delta U / 337 I_{p.k} = 15 / 337 \cdot 0,0104 = 4,3 \text{ км.}$$

При очень больших длинах цепей управления для компенсации потери напряжения применяются источники питания с повышенным напряжением. Так как для реле МКУ-48 допускается повышение напряжения только до 10 %, а для других реле до 5 %, то необходимо для реле, расположенных близко от источника питания, снижать избыточное напряжение путем включения последовательно с катушкой реле дополнительного сопротивления.

Дополнительное сопротивление может быть определено по формуле

$$r_d = U_{ист} / I_{p.k} - r_{\Sigma} - R_k, \quad (20.3)$$

где r_{Σ} — сопротивление линии. Для телефонного кабеля с медной жилой диаметром 0,5 мм можно принимать сопротивление линии 95 Ом/км.

Если сети управления выполняются на переменном токе катушками и проводами, индуктивным сопротивлением которых можно пренебречь, то необходимое сечение проводов определяется по формуле

$$s = \beta I_{\text{п}} l, \quad (20.1)$$

где $I_{\text{п}}$ — пусковой ток катушки реле или контактора; β — коэффициент, значение которого зависит от напряжения сети, материала проводника и коэффициента индуктивности катушки при пуске, а также от допустимой потери напряжения. Значения коэффициента β приводятся в табл. 20.1

Таблица 20.1. Значения коэффициента β

Сечение проводов, мм ²	Коэффициент β для проводов					
	Медных			Алюминиевых		
	12 В	220 В	380 В	12 В	220 В	380 В
1	1,57	0,91	0,52	2,6	1,51	0,8
0,95	1,47	0,86	0,49	2,41	1,43	0,8
0,9	1,43	0,83	0,473	2,37	1,38	0,75
0,85	1,36	0,79	0,45	2,26	1,31	0,7
0,8	1,3	0,75	0,43	2,15	1,24	0,65
0,75	1,24	0,72	0,41	2,03	1,19	0,6
0,7	1,17	0,68	0,39	1,94	1,13	0,6
0,65	1,1	0,64	0,37	1,83	1,06	0,6
0,6	1,04	0,6	0,345	1,73	1	0,55
0,55	0,99	0,57	0,33	1,64	0,95	0,5
0,5	0,93	0,54	0,31	1,55	0,9	0,45
0,45	0,89	0,51	0,3	1,48	0,85	0,4
0,4	0,83	0,48	0,275	1,38	0,8	0,4
0,35	0,78	0,45	0,26	1,29	0,75	0,4
0,3	0,72	0,415	0,24	1,19	0,69	0,4
0,25	0,665	0,385	0,22	1,1	0,64	0,35
0,2	0,62	0,355	0,205	1,03	0,59	0,3

Для воздушных сетей управления, выполняемых медными или алюминиевыми проводами, приходится считаться с индуктивным сопротивлением линии. В этом случае потеря напряжения определяется по следующей формуле:

$$\Delta U = 100 (1 - U_{\text{к}}) \gamma I_{\text{п}}, \quad (20.2)$$

где $U_{\text{к}}$ — номинальное напряжение катушки, В; γ — коэффициент, определяемый по формуле

$$\gamma = \sqrt{a^2 + b \frac{U_{\text{к}} l}{I_{\text{п}}} (\cos \varphi + c \sin \varphi) + \left(\frac{U_{\text{ном}}}{I_{\text{п}}} \right)^2}, \quad (20.3)$$

Таблица 20.2. Коэффициенты a, b, c

Материал проводов, мм			
Медные:			
2×6	58,2	12	0,12
2×10	13,7	7,3	0,211
2×16	5,5	4,6	0,312
Алюминиевые:			
2×16	15,5	7,7	0,187
2×25	6,6	5	0,162

где $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение источника питания, В; φ — угол сдвига фаз между напряжением и током катушки при пуске; a, b, c — коэффициенты, зависящие от материала и сечения проводов, принимаемые по табл. 20.2.

Значения токов, потребляемых катушками контакторов, магнитных пускателей и реле, приводятся в каталогах.

20.3. УПРАВЛЕНИЕ ОСВЕЩЕНИЕМ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ

Существенная экономия электрической энергии может быть получена при автоматизации управления освещением некоторых помещений в больницах, поликлиниках, школах, административных и других зданиях.

Так, например, в школах, особенно крупных, целесообразно, как указывалось выше, отключать на время уроков часть освещения рекреаций, коридоров и некоторых других помещений, что снижает более чем на половину расход электроэнергии на их освещение.

На рис. 20.3 представлена схема, связанная с системой звонковой сигнализации школы, работающей от электроустанов. Для обеспечения правильного включения и выключения освещения, т. е. для того чтобы свет в рекреациях погасал на время урока и зажигался во время перемены, необходимо первый раз автоматический выключатель $F1$ включить во время урока, благодаря чему первый импульс поступит на катушку реле $1K$. В дальнейшем никаких манипуляций с автоматическим выключателем $F1$ производить не требуется.

Реле $1K$ сработает и своим контактом $1K3$ в цепи 1—7 замкнет цепи питания первой катушки реле $2K$. Последнее сработает, зафиксировавшись в этом положении специальной

из насосов должен работать постоянно. Тогда в ЦТП устанавливаются три насоса и второй насос исключается при увеличении водоразбора по команде расходомера, а третий является резервным и включается в работу в случае выхода из строя любого работающего насоса.

Иногда в ЦТП устанавливаются четыре насоса, работающих последовательно. При минимальном давлении в городском водопроводе работают три насоса, обеспечивая в сети микрорайона давление, равное сумме напоров трех насосов и давления в городской сети. По мере роста давления в городской сети отключается сначала один насос, а затем второй и в работе остается только один насос. Четвертый насос является резервным и включается в случае выхода из строя одного из работающих насосов. Команды на включение и отключение насосов в этом случае подаются с помощью электроконтактных манометров.

На объектах с относительно небольшим расходом холодной воды устанавливаются всего два насоса: один рабочий и один резервный. При этом в часы минимального водоразбора и при достаточном давлении в городской сети можно не работать и этот насос.

Существует большое число различных вариантов схем управления хозяйственными насосами при установке двух, трех и четырех насосов. Для примера рассмотрим один из вариантов управления двумя насосами.

На рис. 21.1 приведена схема управления двумя насосами с поочередным включением в работу, благодаря чему обеспечивается равномерный износ обоих агрегатов. Схема работает следующим образом. При замыкании минимального контакта $SP1$ электроконтактного манометра срабатывает реле $1K$, которое включает в работу первый насос. Одновременно реле $1K$ контактом $1K2$ подает напряжение на катушку реле $3K$, которое самоблокируется и подготавливает цепь реле $2K$. При повторном замыкании контакта $SP1$ срабатывает реле $2K$, которое уже включает в работу второй насос и обесточивает реле $3K$. Таким образом, при каждом замыкании контакта $SP1$ поочередно срабатывают реле $1K$ и $2K$, а следовательно, поочередно включаются насосы. Отключение работающего насоса осуществляется с помощью реле $4K$, которое срабатывает при замыкании максимального контакта $SP2$ электроконтактного манометра.

Если насос не поднимает давления в сети, то контакт $SP1$ не замыкается, и тогда с небольшой выдержкой вре-

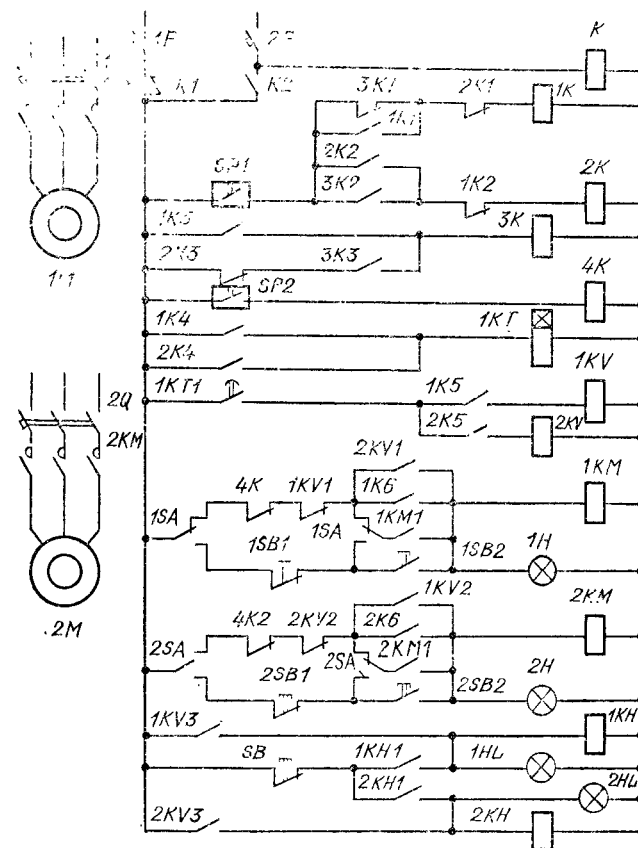


Рис. 21.1. Схема управления двумя хозяйственными насосами

мени, обеспечиваемой реле $1KT$, срабатывает либо реле $1KV$, либо реле $2KV$, которые отключают неисправный насос и включают резервный.

Работа насосов сигнализируется зелеными лампами $1H$ и $2H$, авария — красными $1HL$ и $2HL$.

Реле K служит для автоматического переключения питания цепей управления при исчезновении напряжения в силовых цепях одного из двигателей.

Для производства наладочных и ремонтных работ предусматривается управление насосами местными кнопками

1SB1, 1SB2 и 2SB1, 2SB2. Перевод на местное управление осуществляется с помощью переключателей 1SA и 2SA.

Электроконтактный манометр, контролирующий давление в сети и подающий импульсы на включение и отключение электродвигателей насосов, устанавливается на общем подающем трубопроводе после насосов.

Устанавливать манометр до насосов нецелесообразно, так как разница между минимальной и максимальной установками в этом случае очень мала и возможны ложные срабатывания.

21.2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОЖАРНЫХ НАСОСОВ

В большинстве случаев в сетях противопожарного водопровода устанавливаются два пожарных насоса: один рабочий и второй резервный. Пуск насосов осуществляется при помощи кнопок, устанавливаемых в шкафах пожарных кранов. Отключаются насосы только со шкафов управления, устанавливаемых непосредственно около насосов. Иногда кнопки дистанционного пуска пожарных насосов дублируются специальными реле протока, которые устанавливаются на общем трубопроводе и обеспечивают автоматический пуск насоса при открывании любого пожарного крана.

Особенностью управления пожарными насосами является установка в цепи пуска двухпозиционного реле, которое, сработав, остается в таком положении даже в случае снятия напряжения. Это необходимо для того, чтобы при кратковременном исчезновении напряжения (например, при срабатывании АВР) не произошло отключение рабочего насоса. Цепи контроля работы рабочего насоса и пуска резервного не отличаются от аналогичных цепей хозяйственных насосов.

21.3. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

В системах горячего водоснабжения устройства автоматики обеспечивают поддержание постоянной температуры ($60 \pm 5^\circ\text{C}$) в системе и управление насосами горячей воды. Поддержание постоянной температуры воды в системе может обеспечиваться с помощью различных регуляторов температуры прямого и непрямого действия — гидравлических, электрических и пневматических.

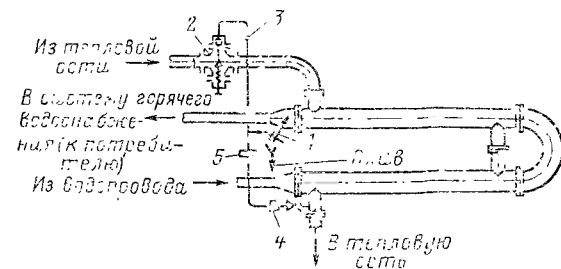


Рис. 21.2. Регулирование температуры горячей воды

Наиболее широкое применение в настоящее время находит гидравлическая система регулирования температуры горячей воды, приведенная на рис. 21.2, как наиболее простая и дешевая. В качестве датчика температуры применяют биметаллическое термореле 1, служащее для изменения давления воды в надсильфонной камере регулятора 2, установленного на подающей линии теплосети, в зависимости от температуры горячей воды. Трубка 3 соединяет надсильфонную камеру с термореле и через дроссельную диафрагму 5 и фильтр 4 с обратным трубопроводом.

В зависимости от изменения температуры горячей воды биметаллическая пластинка меняет свое положение по отношению к соплу, через которое вытекает вода из трубки 3. Например, при увеличении температуры скорость истечения воды через сопло становится больше, чем скорость ее прохождения через диафрагму 5, давление в надсильфонной камере падает и клапан прикрывается, количество греющей воды снижается и температура воды в системе горячего водоснабжения не изменяется. Однако приведенная система недостаточно надежна в эксплуатации, поэтому следует считать перспективными системы электрической автоматизации, которые уже внедряются в некоторых жилых районах.

Насосы в системе горячего водоснабжения могут служить для повышения давления в системе и для циркуляции воды в системе (циркуляционные). Насосов для повышения давления в системе может, как правило, устанавливаться два или три, и тогда схемы их управления ничем не отличаются от схем управления хозяйственными насосами.

Для автоматизации циркуляционных насосов системы горячего водоснабжения применяют различные схемы, обес-

печивающие их работу либо в зависимости от температуры воды в циркуляционном трубопроводе, либо еще и в зависимости от давления в подающем трубопроводе. В последнее время находят применение схемы автоматизации циркуляционных насосов в функции времени, т. е. работа насосов происходит по специальной программе в определенное время и на заданный период.

21.4. АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Системы отопления могут выполняться с элеваторными узлами и водонагревателями. К элеваторам подводится горячая вода непосредственно из тепловой сети. Здесь она смешивается в определенной пропорции с обратной водой, поступающей из отопительных приборов. В элеваторных системах задачи автоматизации сводятся к поддержанию постоянного расхода теплофикационной воды и перепада давления между подающим и обратным трубопроводами. Для выполнения указанных функций применяются гидравлические регуляторы давления и расхода специальной конструкции.

В микрорайонах, застраиваемых домами повышенного этажности, системы отопления оборудуются водонагревателями (бойлерами), которые размещаются в ЦТП, где и осуществляется подготовка воды, подаваемой в систему отопления всех домов микрорайона. Для подачи воды в систему отопления служат специальные циркуляционные насосы, которых обычно два: один рабочий и один резервный.

Выбор рабочего и резервного насосов может осуществляться обслуживающим персоналом с помощью переключателей, а может производиться автоматически с помощью программного реле времени 2РВМ по заданной программе (например, каждые 12 ч).

Регулирование температуры воды, подаваемой в систему отопления, осуществляется на ЦТП в функции температуры наружного воздуха. Для этой цели устанавливается электронный регулятор Р-25 с двумя термометрами сопротивления: один в подающем трубопроводе системы отопления, а второй на наружном воздухе. С выхода регулятора команды поступают на исполнительный механизм клапана регулирующего количество теплофикационной воды, про-

ходящей через бойлер. Таким образом, в зависимости от температуры наружного воздуха изменяется температура воды, подаваемой в систему отопления.

Кроме того, в последнее время находят применение системы пофасадного регулирования температуры и расхода воды в системе отопления. Для этого на каждом фасаде здания выбираются три характерные квартиры на верхних этажах здания и три на нижних, в которых устанавливаются термометры сопротивления, подключаемые к специальному регулятору Т-18. К этому же регулятору подключаются термометры сопротивления, установленные в подающем и обратном трубопроводах системы отопления. К выходу регулятора подключаются исполнительные механизмы двух регулирующих клапанов.

С помощью одного клапана регулируется температура воды в системе отопления, а с помощью второго — ее количество. Таким образом, осуществляется более точное поддержание температуры в жилых помещениях.

Как видно из сказанного, в жилых домах при наличии пофасадного регулирования системы отопления появляется специальная измерительная сеть, которая должна выполняться медными проводами, что необходимо для обеспечения надежной работы измерительных цепей, по которым проходят ничтожно малые токи. Измерительные цепи прокладываются в металлических трубах для экранирования от наводок.

Отметим в заключение, что автоматизация систем водоснабжения и отопления наряду с повышением надежности их работы обеспечивает сокращение обслуживающего персонала и экономии топлива и электроэнергии.

Глава двадцать вторая

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ДЫМОЗАЩИТЫ

В многоэтажных зданиях при пожаре возникает опасность быстрого распространения дыма по лестничным маршам, лифтовым шахтам, вентиляционным каналам и т. д. Таким образом, люди оказываются лишенными путей эвакуации с этажей, расположенных выше очага пожара, и дымом заполняются многие вышележащие помещения. Это

¹ Бойлер — труба, в которой протекает горячая вода из городской теплофикационной сети. Внутри этой трубы встроено несколько труб из теплопроводного материала, по которым протекает нагреваемая вода.

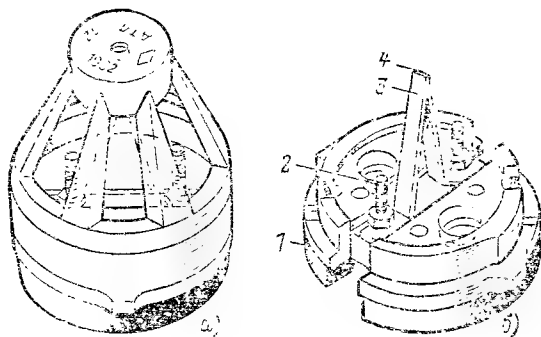


Рис. 22.1 Устройство ДТЛ:

а — с прозрачной крышкой, б — со снятым защитным колпачком

может привести к тяжелым последствиям. Положение усугубляется в зданиях большой высоты (10 этажей и более), ибо эвакуация людей через лестницы и балконы затруднена, а порой и невозможна.

Для предотвращения распространения дыма по зданию при пожаре служат специальные системы, обеспечивающие его удаление из помещений, непосредственно прилегающих к месту пожара (вытяжная вентиляция), и создание подпора воздуха в лестничных клетках и шахтах лифтов (приточная вентиляция). Управление вентиляторами вытяжной и приточных систем должно быть автоматизировано.

Для этой цели служат датчики, реагирующие на повышенную температуру.

Наиболее распространенным датчиком такого типа является ДТЛ (датчик тепловой легкоплавкий), устройство которого приведено на рис. 22.1. На пластмассовом основании 1 винтами 2 закреплены две контактные пружины, концы которых спаяны легкоплавким сплавом 4. К винтам 2 подключаются провода электрической цепи. При повышении температуры окружающей среды сверх установленной предельной (обычно 70 °С) сплав расплавляется и контактные пружины размыкают электрическую цепь.

Тепловые датчики устанавливаются в каждой квартире и включаются последовательно в один луч¹ для группы

¹ В системах противопожарной автоматики приняты следующие термины: в которую включены датчики, называть лучом.

квартир, объединенных общим коридором. Луч каждого этажа подключается к специальной станции, обеспечивающей сигнализацию о пожаре и подачу импульсов в цепи дистанционного управления.

Одной из распространенных станций, применяемых для этих целей, является концентратор малой емкости типа «Комар» с приставками типа «Сигнал-12». Концентратор «Комар» и каждая приставка к нему рассчитаны на подключение пяти лучей, причем к одному концентратору можно подключать до пяти приставок.

На лицевой панели станции установлены сигнальные лампы по числу подключенных лучей, которые загораются при возникновении пожара. Специальные реле в станции срабатывают при обрыве в цепи луча, включают сигнальную лампу и подают импульс в цепи управления. Однако вследствие весьма малой коммутирующей способности контактов этих реле импульсы от них приходится преобразовывать с помощью промежуточных реле с более мощными контактами.

Удаление дыма осуществляется вытяжным вентилятором через шахту, имеющую специальные клапаны с электромагнитным приводом на каждом этаже. При срабатывании любого из датчиков включаются вытяжной и приточный вентиляторы и открываются клапаны у этих вентиляторов и клапан на этаже, где произошел пожар. В шкафах пожарных кранов на каждом этаже устанавливаются кнопки, с помощью которых можно дублировать управление системами.

Помимо концентратора «Комар» в подобных схемах применяются и другие устройства, как, например, станция ТОЛ-10/100, также работающая с тепловыми датчиками, станции РУОП, СДПУ-1, работающие со специальными комбинированными датчиками КИ-1, реагирующими как на повышение температуры, так и на определенные концентрации дыма. Эти станции и ряд других устройств применяются в промышленных и общественных зданиях. В жилых домах разрешается установка только тепловых датчиков ДТЛ, так как в датчиках, реагирующих на дым, применяются радиоактивные элементы.

В связи с этим в первые годы строительства домов повышенной этажности наибольшее распространение получили схемы с концентраторами «Комар». Однако схема с концентраторами «Комар» имеет недостаток, заключающийся в том, что срабатывание вентиляционных устройств и сигнал

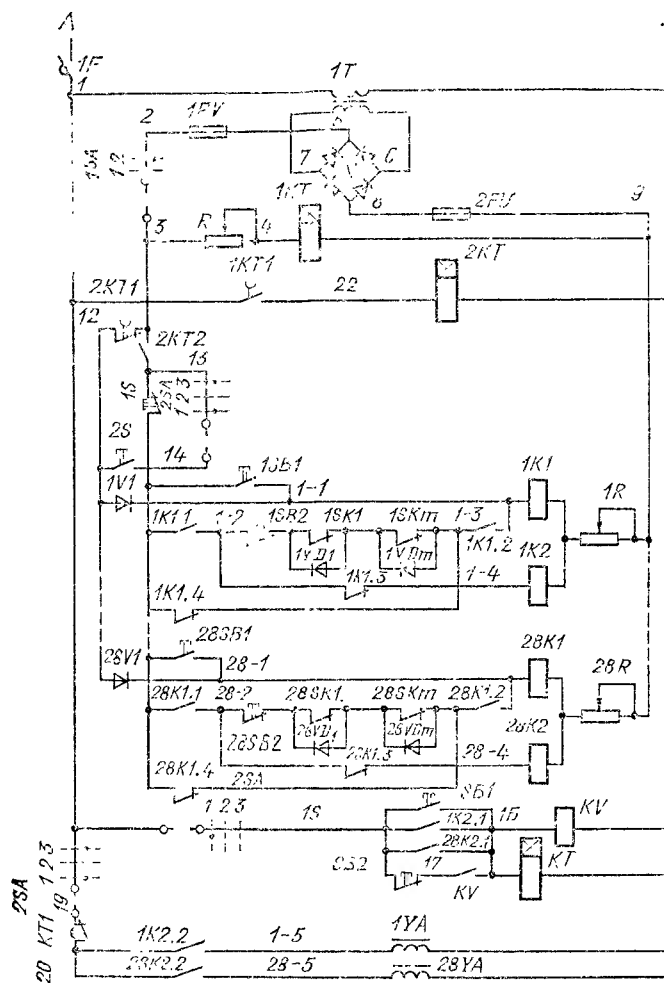


Рис. 22.2 Схема управления системами дымозащиты с сети постоянного тока в лучах

о вызове пожарной команды могут произойти не только в случае загорания, но и при случайном обрыве в луче.

Начиная с 1972 г. в массовом жилищном строительстве в Москве и некоторых других городах нашла широкое при-

менение схема, приведенная на рис. 22.2. В основе работы схемы лежит принцип изменения полярности с помощью диодов, шунтирующих каждый датчик ДТЛ. Как видно из схемы, в каждом луче включены два реле: вспомогательное $1K1$ и исполнительное $1K2$. В цепи катушки первого реле включены соединенные последовательно датчики луча данного этажа $1SK1-1SKm$, шунтированные диодами $1VD1-1VDm$. Работа схемы происходит следующим образом. При подаче напряжения на схему срабатывают все вспомогательные реле по цепи: плюс выпрямителя V , размыкающий контакт реле времени $2KT1$, диод $1V1$ (для луча 1-го этажа), катушка реле $1K1$, добавочное сопротивление $1R$, минус выпрямителя.

Вспомогательное реле, сработав, самоблокируется по цепи: плюс выпрямителя V , контакт реле времени $2KT2$, кнопка проверки схемы $1S$, контакт реле $1K1.1$, кнопка $1SB2$ (устанавливается в пожарном шкафу), тепловые датчики, контакт $1K1.2$ и катушка реле $1K1$, добавочное сопротивление $1R$, минус выпрямителя. Таким образом, каждый луч оказывается в дежурном режиме. Если теперь произойдет размыкание любого из датчиков (например, $1SK1$) в луче, то реле $1K1$ обесточится, так как диод, шунтирующий разомкнувшийся датчик, включен навстречу плюсу выпрямителя. После отключения реле $1K1$ включается реле $1K2$ по цепи: плюс выпрямителя, контакт реле времени $2KT2$, кнопка проверки схемы $1S$, размыкающий контакт реле $1K1.4$, диод $1VD1$, шунтирующий разомкнувшийся датчик, кнопка $1SB2$, размыкающий контакт реле $1K1.3$, катушка реле $1K2$, добавочное сопротивление $1R$ минус выпрямителя. Реле $1K2$ своим замыкающим контактом $1K2.2$ замыкает цепь питания электромагнита $1YA$ клапана данного этажа; другим замыкающим контактом реле $1K2.1$ включает реле пуска вентиляции KV и реле времени KT , которое с выдержкой времени 10—15 с своим контактом $KT1$ отключает цепь питания всех электромагнитов этажных клапанов.

Это необходимо для того, чтобы был открыт только один клапан, так как вентилятор рассчитывается на эффективное удаление дыма только при одном открытом клапане. Это же реле KT своим замыкающим контактом выдает на диспетчерский пункт сигнал «Пожар».

В случае обрыва цепи питания катушки реле $1K1$ оно обесточивается, но и реле $1K2$ не может включиться, так как

¹ На схеме показаны 1-й и 28-й лучи.

они имеют общие цепи. В этом случае последовательно соединенные размыкающие контакты обоих реле включают специальное реле, общее для всех лучей (на схеме не показано), которое передает на диспетчерский пункт сигнал «Неисправность».

В схеме предусмотрена возможность проверки как всей схемы сразу с помощью кнопки *IS*, установленной на щите, так и каждого луча в отдельности с помощью кнопки *ISB2*, устанавливаемой в пожарном шкафу. Перевод схемы в дежурный режим осуществляется либо со щита кнопкой *2S*, либо на каждом этаже кнопкой *SB1*. При монтаже и наладке схемы необходимо строго соблюдать полярность включения каждого датчика, шунтированного диодом. Это создает определенные трудности при выполнении монтажных и наладочных работ.

Начиная с 1977 г. вместо описанной схемы внедряется новая схема, приведенная на рис. 22.3. Эта схема отличается от описанной главным образом тем, что в каждом помещении устанавливаются не один, а два датчика ДТЛ, которые уже не требуется шунтировать диодами. Один датчик включается в луч данного этажа, а второй — в один контрольный луч на все этажи¹. Размыкание одновременно двух датчиков в одном помещении формируется в схеме как сигнал «Пожар», а любого одного — как сигнал «Неисправность».

В отличие от описанной схемы в каждом луче вместо двух реле постоянного (=24 В) тока применяется одно реле переменного (~36 В) тока. В контрольный луч включено одно реле постоянного (=24 В) тока.

При обесточивании одновременно одного из этажных лучевых реле и реле контрольного луча размыкается цепь питания катушки реле *KV*, которое, в свою очередь, обесточивается и подает сигнал «Пожар», одновременно включая необходимые вентиляционные системы. Если разомкнется только один датчик в этажном или контрольном луче, то реле *KV* остается под напряжением, а обесточивается реле *KT*, которое выдает сигнал «Неисправность».

Так как длина трасс лучей, особенно контрольного, может достигать больших значений, необходимо считаться с потерей напряжения и правильно выбирать сечение лучевых проводов.

¹ Эта схема, так же как и описанная, формируется на одну секцию жилого дома.

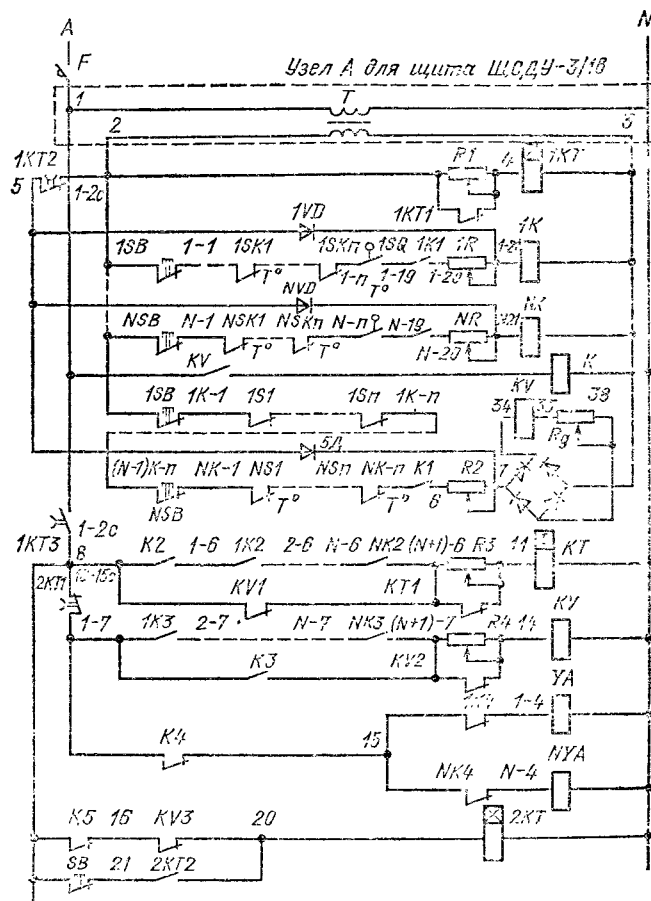


Рис. 22.3. Схема управления системами дымозащиты с реле переменного тока в лучах

Длина двухпроводной линии, т. е. трассы этажного луча, м, может быть определена по формуле

$$l = \frac{c \Delta U}{P \cos \varphi K_3}, \quad (22.1)$$

где c — коэффициент, зависящий от напряжения и материала проводника; для медного провода при напряжении 36 В $c=0.324$; s — сечение проводника, мм²; ΔU — допустимая потеря напряжения в луче, может приниматься до 10 %; P — мощность, потребляемая катушкой реле,

кВ·А; $\cos \varphi$ — коэффициент мощности катушки реле; K_3 — коэффициент запаса, учитывающий непредвиденные снижения напряжения и переходные сопротивления на соединениях (можно принять $K_3=2,5$).

Для примера определим максимальную длину трассы этажного луча, выполняемого проводом марки ТРВ с жилой диаметром 0,5 мм, при установке в луче реле РПУ-1 ($P=16 \text{ В} \cdot \text{А}=0,016 \text{ кВ} \cdot \text{А}$).

Сечение провода $s=\pi D^2/4=3,14 \cdot 0,5^2/4 \approx 0,2 \text{ мм}^2$.

Коэффициент мощности катушки реле определяется из выражения

$$\cos \varphi \approx R/Z, \quad (22.2)$$

где R — активное сопротивление катушки постоянному току (по каталогу $R=14 \text{ Ом}$); Z — полное сопротивление катушки на переменном токе, определяемое из выражения $Z=U/I$; $I=P/U=16/36=0,45 \text{ А}$,

$$Z=36/0,45=80 \text{ Ом}.$$

Подставляя значения R и Z в выражение (22.2), получаем

$$\cos \varphi = 14/80 = 0,175 \approx 0,2,$$

тогда

$$l = \frac{0,324 \cdot 0,2 \cdot 10}{0,016 \cdot 0,2 \cdot 2,5} = 81 \text{ м}.$$

Следовательно, полную длину луча можно принять 160 м.

В случае более длинного этажного луча можно применить, например провод ППВ-0,75, тогда

$$l = \frac{0,324 \cdot 0,75 \cdot 10}{0,016 \cdot 0,2 \cdot 2,5} = 300 \text{ м}.$$

Следовательно, полную длину луча можно принять 600 м.

Для контрольного луча максимальная длина линии определяется из следующих двух выражений:

$$I = U_{\text{ном}} / (R_{\text{пр}} + 2R_{\text{д}} + R_{\text{к}}); \quad (22.3)$$

$$I = \Delta U / (R_{\text{пр}} + 2R_{\text{д}}), \quad (22.4)$$

где I — ток в луче, А; $R_{\text{пр}}$ — сопротивление проводов, Ом; $R_{\text{д}}$ — сопротивление диода, Ом; $R_{\text{к}}$ — сопротивление катушки реле, Ом; $U_{\text{ном}}$ — напряжение питания, В; ΔU — допустимая потеря напряжения на линии и диодах, В.

Тогда, приравняв выражения (22.3) и (22.4), можно составить уравнение для определения длины линии:

$$l = \frac{\Delta U (2R_{\text{д}} + R_{\text{к}}) - 2U_{\text{ном}} R_{\text{д}}}{R_{\text{пр.уд}} (U_{\text{ном}} - \Delta U)}. \quad (22.5)$$

Для описываемой схемы $U_{\text{ном}}=36 \text{ В}$ применено реле МКУ-48 с катушкой напряжением 24 В постоянного тока, $R_{\text{к}}=510 \text{ Ом}$, $2R_{\text{д}}=7 \text{ Ом}$. Сопротивление проводов определяется как произведение 1 км провода

на длину ($R_{\text{пр.уд}}l$). Принимаем $\Delta U=14 \text{ В}$. Для проводов ТРВ $R_{\text{пр.уд}}=90 \text{ Ом/км}$, тогда

$$l = \frac{14(7 + 510) - 2 \cdot 36 \cdot 7}{90(36 - 14)} = \frac{6740}{90 \cdot 22} = 3,4 \text{ км}.$$

Следовательно, длину трассы можно принять равной 1700 м.

Если применить провод ППВ-0,75, $R_{\text{пр.уд}}$ которого равно 23 Ом/км,

то

$$l = \frac{6740}{23 \cdot 22} = 13,5 \text{ км} = 13\,500 \text{ м},$$

Следовательно, трасса равна 6750 м.

Следует иметь в виду, что при первоначальном включении все этажные (лучевые) реле срабатывают практически одновременно и по питающим проводам проходит суммарный пусковой ток этих реле, что вызывает значительную потерю напряжения.

Для обеспечения надежного включения реле необходимо расчетом определить требуемое сечение. В некоторых случаях может оказаться целесообразным каскадное включение этажных реле. Для исключения одновременного включения всех электродвигателей приточных и вытяжных вентиляторов дымозащиты в схемах управления устанавливаются реле времени, обеспечивающие отстройку пуска по времени.

Глава двадцать третья

ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ ИНЖЕНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Широкое внедрение различного инженерного оборудования в жилых и общественных зданиях значительно усложняет его эксплуатацию. К инженерному оборудованию относятся многочисленные насосные установки, вентиляционные системы, противопожарные устройства, пассажирские и грузовые лифты, общедомовые осветительные установки, наружное и декоративное освещение, тепловые пункты и т. д.

Для эффективного контроля за работой инженерного оборудования, а также своевременной ликвидации аварийных состояний и проведения ремонта используются различные диспетчерские службы, организованные в ряде круп-

ных городов (Москва, Ленинград, Свердловск и др.). В Москве созданы объединенные диспетчерские службы (ОДС), функционирующие при ДЭС (РЭУ).

Организация диспетчерской службы позволяет высвободить большое количество персонала при значительном упрощении эксплуатации и повышении надежности работы оборудования. Так, введение диспетчеризации пассажирских лифтов в жилых домах позволило отказаться от лифтеров. Система диспетчеризации инженерного оборудования состоит из диспетчерского пункта (ДП) с пультом диспетчера и контролируемых пунктов (КП), устанавливаемых непосредственно на объектах, к которым подключается все контролируемое инженерное оборудование.

В качестве каналов связи между ДП и КП могут использоваться:

- а) многопроводные линии с отдельными проводниками на каждые импульс, команду, сигнал;
- б) малопроводные линии с различными видами уплотнения, при которых по одной паре проводников может быть передано значительное количество сигналов;
- в) существующие электрические сети, по которым сигналы передаются на частотах, отличающихся от промышленной частоты.

Пока наибольшее распространение в жилищном хозяйстве получили системы диспетчеризации с многопроводными каналами связи. Широко распространенные в Москве ОДС обслуживают только жилые дома и предназначены главным образом для приема от населения заявок на устранение различных неполадок, возникающих в системах электроснабжения, водоснабжения, отопления, лифтовых установках и т. д. Для этого система ОДС оборудована двухсторонней громкоговорящей связью с переговорными устройствами, устанавливаемыми на первом этаже в каждом подъезде всех домов и в каждой кабине лифтовых установок. Кроме того, на пульт ОДС поступают сигналы о пожаре от щитов систем дымоудаления и пожарной сигнализации или о неисправности в сети, а также о наличии напряжения на зажимах электродвигателей систем дымоудаления.

К специальному прибору (логометру), установленному на пульте диспетчера, подключаются термометры сопротивления, позволяющие измерить в ЦТП температуру воды в системе отопления и горячего водоснабжения. Для переговоров диспетчера с ремонтным персоналом переговорные

устройства устанавливаются в ЦТП и подвалах жилых домов, где к переговорным устройствам подключаются специальные датчики, сигнализирующие о затоплении технических подполий и подвалов. С пульта диспетчера может осуществляться управление освещением лестниц и коридоров в жилых домах.

В последнее время в многоэтажных жилых домах устанавливаются кодовые замки (на входах в подъезд) или запорно-переговорные устройства (домофоны). С пульта ОДС можно открыть наружные двери. Имеется также переговорное устройство, позволяющее вести переговоры с диспетчером из каждого подъезда. Одним из существенных недостатков ОДС является то, что к пультам ОДС не подключается инженерное оборудование общественных зданий (школ, детских садов, магазинов и т. п.), расположенных в микрорайоне.

Наиболее прогрессивным является создание центральных диспетчерских пунктов (ЦДП), обслуживающих все здания, расположенные в микрорайоне.

Главная задача, которую приходится решать при проектировании ЦДП — это выбор аппаратуры. При достаточно больших площадях застройки с большим числом как жилых, так и общественных зданий целесообразно применять телемеханическую аппаратуру с малопроводными каналами связи.

Так, например, в жилом районе Чертаново-Северное в Москве сооружен ЦДП с аппаратурой ТК-210, специально разработанной Министерством приборостроения для автоматизированных систем управления (АСУ) городским хозяйством. Система ТК-210 представляет собой многофункциональный комплекс с программной обработкой информации, позволяющий комплексно решать задачи сбора, передачи, программно-управляемой обработки, хранения и выдачи информации.

В состав комплекса, предназначенного для диспетчеризации инженерного оборудования объектов Чертаново-Северное, входят (рис. 23.1) устройство пункта управления ПУ, три контролируемых пункта КП и 24 периферийных контролируемых пункта ПКП.

Устройство ПУ обеспечивает выполнение следующих функций:

- а) передачу на КП и ПКП от пульта диспетчера или управляющего вычислительного комплекса (УВК) следующих команд:

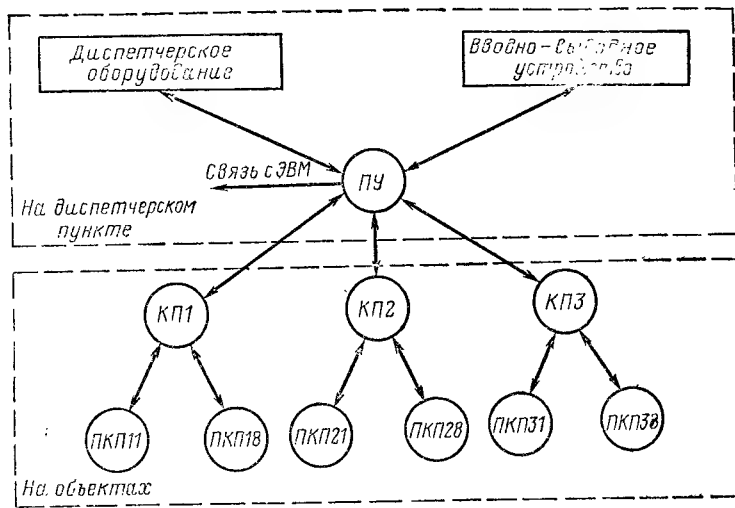


Рис. 23.1. Структурная схема диспетчеризации района

управление двухпозиционными (ТУ) объектами;
 вызов со всех КП и ПКП или выбранного КП (ПКП) информации о состоянии двухпозиционных объектов (ТС);
 вызов со всех КП и ПКП или выбранного КП (ПКП) телесигнализации текущих значений параметров (ТТ);

б) передачу на КП (ПКП) от пульта диспетчера вызова к телефону (ТФ) и ведение телефонных переговоров;

в) прием известительной информации (ТС, ТТ) со всех КП и ПКП или одного КП (ПКП);

г) ретрансляцию известительной (ТС, ТТ) информации в УВК;

д) индикацию в цифровой или аналоговой форме параметров ТТ в абсолютных или относительных значениях по выбору диспетчера или постоянно;

е) обнаружение и сигнализацию выхода принимаемых параметров ТТ за пределы заданных уставок;

ж) обнаружение и сигнализацию изменения положения объектов или появления телесигнализации аварийной (ТСА);

з) воспроизведение информации ТС по схеме мимического или светового щита;

и) цифро-буквенную регистрацию и перфорацию по за-

данной программе известительной (ТС, ТТ) и командной (ТУ) информации.

Устройство КП обеспечивает выполнение следующих функций:

а) прием с ПУ команд ТУ;

б) передачу на ПКП команд ТУ;

в) передачу на ПУ по вызову информации о состоянии объектов ТС, ТСА и значений параметров ТТ;

г) ретрансляцию на ПУ с аппаратуры ПКП по вызову информации о состоянии объектов ТС, ТСА и значений параметров ТТ;

д) передачу на ПУ сигнала вызова диспетчера к телефону.

Устройство ПКП обеспечивает выполнение следующих функций:

а) прием с ПУ через КП команд ТУ;

б) передачу на ПУ через КП по вызову информации о состоянии объектов ТС, ТСА и значений параметров ТТ;

в) передачу на ПУ через КП сигнала вызова диспетчера к телефону.

Наиболее целесообразна организация единых диспетчерских служб, обслуживающих не только жилищное хозяйство, но и весь комплекс зданий и сооружений микрорайона. Примером таких эксплуатационных служб являются дирекции, организованные в Москве на проспекте Калинина, в Олимпийской деревне, жилом районе Чертаново-Северное. В таких случаях экономически оправдано и целесообразно применение систем телемеханики, подобных описанной выше.

В некоторых общественных зданиях, таких, как гостиницы, рестораны, административные здания, крупные учебные заведения, создаются ЦДП, в которых устанавливаются щиты и пульта с аппаратурой управления и сигнализации, а иногда и контрольно-измерительные приборы. Из ЦДП осуществляется дистанционное управление электродвигателями различного инженерного оборудования, осветительными установками и контроль за их работой. Сюда же поступают сигналы о пожаре и различных аварийных ситуациях.

ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Глава двадцать четвертая

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

24.1. УСЛОВИЯ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ТОКОМ

Эксплуатация всех видов электроустановок представляет определенную опасность для людей. Это вызывает необходимость строгого соблюдения требований правил техники безопасности и соответствующей квалификации персонала, обслуживающего эти устройства.

Поражение электрическим током возможно в случае прикосновения к токоведущим частям электроустановки или к металлическим нетоковедущим частям электрооборудования, оказавшимся под напряжением при нарушении изоляции. Электрические установки могут создать и пожарную опасность при КЗ, перегрузке проводов, кабелей и электроприемников, искрении и повышенном нагреве контактных соединений.

Тело человека обладает определенным электрическим сопротивлением, которое изменяется в широких пределах (от 500 до 100 000 Ом) и зависит от многих причин: общего состояния здоровья, толщины и состояния кожного покрова и его влажности, условий окружающей среды, длительности прохождения тока и некоторых других факторов. В расчетах по технике безопасности сопротивление человеческого тела обычно принимается равным 1000 Ом.

Различают следующие виды воздействия электрического тока на человеческий организм: тепловое — ожоги; механическое — разрыв тканей, электролиз крови; биологическое — поражение нервной системы. Особенно опасно прохождение тока через сердце, вызывающее парализацию сердечной мышцы.

Тяжесть электротравмы зависит от значения тока и длительности его прохождения. Считается, что в большинстве случаев ток 0,1 А представляет собой смертельную опасность для человека. При этом токе, проходящем от руки

к руке или от руки к ногам в течение 3 с, может наступить паралич сердца.

Для человека опасен как переменный, так и постоянный ток, однако наибольшую опасность представляет переменный ток промышленной частоты (50 Гц). С повышением частоты переменного тока опасность поражения уменьшается.

В зависимости от опасности поражения человека электрическим током в действующей редакции ПУЭ принята следующая классификация помещений, в которых размещается электрооборудование.

1. Помещения без повышенной опасности — сухие нежаркие с нетокопроводящими полами, без металлоконструкций, токопроводящей пыли, например жилые, административные и другие общественные здания с деревянными, линолеумными и подобными полами.

2. Помещения с повышенной опасностью — влажные (при относительной влажности выше 75 %), жаркие (при температуре выше 30 °С), с токопроводящими полами (железобетонными, металлическими, земляными), помещения, в которых имеется опасность одновременного прикосновения к металлическим конструкциям зданий, трубопроводам, станкам и металлическим корпусам электрооборудования.

3. Помещения особо опасные — особо сырые помещения, в которых полы, стены и потолок покрыты влагой (бани, прачечные и т. д.), в которых относительная влажность воздуха близка к 100 %, помещения с химически активной средой, воздействующей на изоляцию. К особо опасным относятся и такие помещения, в которых одновременно существуют два или больше признаков повышенной опасности. Применительно к вышеприведенной классификации нормами и правилами установлены надлежащие требования, которым должны удовлетворять электрооборудование, проводки и все другие элементы электроустройств.

Возможны два случая прикосновения человека к токоведущим частям: двухполюсное, когда человек коснулся двух неизолированных проводов электрической сети, и однополюсное, когда человек касается одного из проводов.

Более опасно двухполюсное прикосновение, особенно если к разным проводам человек прикоснулся двумя руками (рис. 24.1). При этом ток, проходящий через тело человека, $I_{\text{ч}}$ в трехфазной четырехпроводной сети может достигнуть значения:

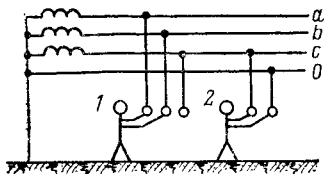


Рис. 24.1. Прикосновение человека к проводам трехфазной четырехпроводной сети: к двум фазным проводам (1) и к фазному и нулевому проводам (2)

при прикосновении к двум фазам

$$I_{\text{ч}} = U_{\text{л}} / R_{\text{ч}} \quad (24.1)$$

и при прикосновении к фазному и нулевому проводам

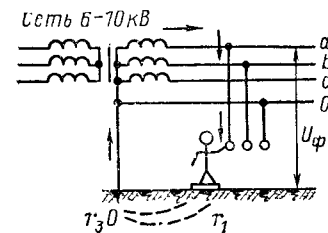
$$I_{\text{ч}} = U_{\text{ф}} / R_{\text{ч}}, \quad (24.2)$$

где $U_{\text{л}}$ и $U_{\text{ф}}$ — соответственно линейное и фазное напряжение сети, В; $R_{\text{ч}}$ — сопротивление человеческого тела, Ом.

При однополюсном прикосновении человек касается либо одного из неизолированных проводников электрической цепи, либо нетоковедущей металлической части электрооборудования, оказавшейся под напряжением в результате повреждения изоляции. В этом случае значение тока, проходящего через человека, зависит не только от приложенного напряжения, но и от режима нейтрали источника питания, активного сопротивления изоляции и емкости проводов по отношению к земле.

Электрические установки могут выполняться с глухозаземленной или изолированной нейтралью генераторов или трансформаторов. Глухозаземленной называется нейтраль генератора или трансформатора, соединенная с заземляющим устройством непосредственно или через малое сопротивление. Изолированной называется нейтраль генератора или трансформатора, не присоединенная к заземляющему устройству или присоединенная к нему через большое сопротивление. Согласно ПУЭ в нашей стране электроустановки и электросети до 1 кВ переменного тока допускаются как с глухозаземленной, так и с изолированной нейтралью. В четырехпроводных сетях переменного тока глухое заземление нейтрали является обязательным. Сети напряжением 110, 220, 500 кВ выполняются с глухозаземленной нейтралью, а 6, 10, 35 кВ — с изолированной нейтралью. В сетях 35 кВ в целях компенсации емкостных

Рис. 24.2. Прикосновение к одному из фазных проводов четырехпроводной трехфазной сети с глухозаземленной нейтралью



токов в случае однофазного замыкания на землю часто применяют заземление нейтрали через катушку с индуктивным сопротивлением. Рассмотрим случай однополюсного прикосновения к фазному проводу в трехфазной четырехпроводной сети 380/220 В, питаемой от вторичной обмотки понижающего трансформатора, с глухозаземленной нейтралью. Как видно из рис. 24.2, ток проходит через тело человека, его обувь, основание, на котором он стоит, и через заземляющее устройство нейтрали трансформатора. Таким образом, ток $I_{\text{ч}}$ будет равен

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{об}} + R_{\text{з}}}, \quad (24.3)$$

где $R_{\text{об}}$ — сопротивление обуви человека и основания, на котором он стоит, Ом; $R_{\text{з}}$ — сопротивление заземляющего устройства нейтрали, Ом.

В формуле (24.3) пренебрегли сопротивлениями фазного провода и грунта ввиду относительно малого их значения. Из этой формулы следует, что если сопротивление обуви и основания достаточно велико, то опасность поражения током снижается. Естественно, такое положение имеет место, если человек находится в сухом помещении с непроводящими полами. Что касается $R_{\text{з}}$, то эта величина мала по сравнению с $R_{\text{ч}}$ и $R_{\text{об}}$.

Значительно опаснее однополюсное прикосновение в сыром помещении или на открытом воздухе, где $R_{\text{об}}$ весьма мало и им можно пренебречь.

В этом случае ток $I_{\text{ч}}$ значительно выше и равен

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{ф}}}{R_{\text{ч}} + R_{\text{з}}}. \quad (24.4)$$

При напряжении 220 В и $R_{\text{ч}} = 1000$ Ом $I_{\text{ч}}$ будет достигать 0,2 А, что чрезвычайно опасно для жизни человека.

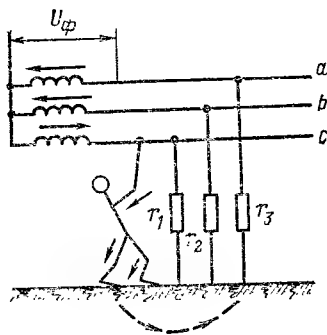


Рис. 24.3. Прикосновение к одному из фазных проводов трехфазной сети с изолированной нейтралью

Однако при однофазном замыкании на землю или повреждении изоляции одной из фаз в сети с глухозаземленной нейтралью и малом сопротивлении заземляющего устройства нейтрали возникает достаточно большой ток КЗ, и поврежденный участок сети должен быстро отключаться

аппаратами защиты. Поэтому вероятность прикосновения в этот момент человека к корпусу поврежденного электроприемника весьма мала, что является важным преимуществом сетей с глухозаземленной нейтралью.

Кроме того, при замыкании одного из проводов сети 380/220 В на землю потенциал неповрежденных проводов (при правильном расчете рабочего заземления нейтрали) не превышает 250 В, что обеспечивает возможность присоединения к такой сети силовых и осветительных электроприемников. Вышеуказанные и некоторые другие преимущества обуславливают обязательность повсеместного применения в четырехпроводных электрических сетях переменного тока глухого заземления нейтрали, за исключением некоторых случаев, оговоренных ПУЭ и указанных далее.

В трехфазной сети с изолированной нейтралью ток $I_{\text{ч}}$ при прикосновении человека к фазному проводу (рис. 24.3) определяется по формуле (без учета емкости сети)

$$I_{\text{ч}} = \frac{3U_{\phi}}{3R_{\text{ч}} + R_{\text{из}}}, \quad (24.5)$$

где $R_{\text{из}}$ — сопротивление изоляции одной фазы относительно земли, Ом (при условии одинакового значения для всех трех фаз).

Из выражения (24.5) следует, что при исправной сети до 1 кВ с высоким уровнем изоляции ток $I_{\text{ч}}$ будет незначителен, и сети с изолированной нейтралью оказываются менее опасными при однополюсном прикосновении, чем сети с глухозаземленной нейтралью. Поэтому ПУЭ рекомендуют применение электрических сетей и устройств с изолированной нейтралью в установках с повышенной опасностью (торфозаготовительное хозяйство, шахты и т. п.).

Однако в такой сети повреждение изоляции и замыкание на землю одной из фаз может быть длительное время не обнаружено, а прикосновение к неповрежденной фазе приведет к тому, что человек окажется под полным линейным напряжением сети. Поэтому ПУЭ требуют в электрических сетях с изолированной нейтралью применять специальные устройства для контроля за состоянием изоляции, немедленно сигнализирующие о повреждении изоляции либо отключающие участки, в которых произошло замыкание на землю.

Отметим в заключение, что в сильно разветвленных и протяженных сетях трудно обеспечить достаточно высокий уровень сопротивления изоляции и, кроме того, уже сказывается влияние емкости проводов по отношению к земле, что повышает опасность однополюсного прикосновения и ограничивает применение системы с изолированной нейтралью.

24.2. ОБЩИЕ МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Для предотвращения поражения электрическим током необходимо прежде всего исключить возможность случайного прикосновения к токоведущим частям. В этих целях устанавливают соответствующие ограждения или токоведущие части располагают на высоте, не доступной без специальных приспособлений.

Распределительные щиты, щитки, распределительные пункты размещают в специальных помещениях или запираемых шкафах, не имеющих токоведущих частей на лицевой стороне. Зажимы электродвигателей и других электроприемников, а также пусковых аппаратов должны быть закрыты кожухом и не доступны для прикосновения.

Ремонт электродвигателей и пусковых аппаратов во время их работы недопустим. Нельзя выполнять ремонт электропроводки без полного отключения выключателем на групповом щитке и т. д.

Для наружных установок и воздушных электрических сетей установлены необходимые высоты и габариты приближения к различным зданиям и сооружениям, обеспечивающие невозможность прикосновения к проводам. Эти размеры зависят от напряжения сети и указаны в ПУЭ и строительных нормах.

Правилами техники безопасности установлены требования безопасности, которые должны соблюдаться обслужи-

вающим электротехническим персоналом в процессе эксплуатации электроустановок. Для защиты обслуживающего персонала от поражения током и действия электрической дуги применяют различные защитные средства и приспособления. К ним относятся инструменты с изолирующими рукоятками, диэлектрические перчатки, галоши и боты, резиновые коврики, защитные очки, специальные лестницы и стремянки, переносные заземления и ограждения, а также сигнальные переносные указатели напряжения и тока.

При производстве работ в установках до 1 кВ при полном снятии напряжения необходимо, чтобы все неотключенные токоведущие части другого соседнего оборудования имели наглухо закрытые ограждения либо находились на расстоянии или высоте, при которых случайное прикосновение к ним работающих невозможно. Правила разрешают в определенных условиях работу без снятия напряжения, для чего применяют защитные средства и специальные приспособления. В этом случае должны работать два электромонтера, старший из которых должен иметь квалификацию по технике безопасности не ниже IV группы, младший — не ниже III группы.

Как уже отмечалось, чрезвычайно важное значение имеет уровень изоляции. Необходимо обеспечивать неуклонное выполнение требований ПУЭ к устройству электроустановок в зависимости от категории помещений. При дистанционном управлении в электроустановках следует применять световую или звуковую сигнализацию, предупреждающую работающих о пуске механизмов, а в некоторых случаях (ТП, РП и т. д.) — блокировочные устройства, исключающие возможность прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением. Нужно строго выполнять профилактические осмотры и измерения, характеризующие состояние электрооборудования, в сроки, регламентированные правилами технической эксплуатации.

Для предупреждения населения об опасности, которую представляют собой все виды электрооборудования, широко применяются различные виды информации, в том числе популярные брошюры, плакаты, лекции, беседы, практикуемые энергоснабжающими организациями.

Наряду с общими мерами безопасности для защиты людей от поражения током в сетях и электроустановках необходимо применять по крайней мере одну из следующих мер: защитное заземление, зануление, защитное отключение, малые напряжения (до 42 В), разделяющие трансформаторы.

изолирующие площадки. Важное значение имеет выравнивание потенциалов в пределах установки или ее частей. В некоторых случаях без выравнивания потенциалов обеспечить безопасность невозможно. Эта защитная мера применяется совместно с защитным заземлением, занулением и другими защитными мерами.

Глава двадцать пятая

ЗАЗЕМЛЕНИЕ, ЗАНУЛЕНИЕ И ЗАЩИТНОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ

25.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Заземлением какой-либо части электроустановки называется преднамеренное соединение ее с заземляющим устройством. Заземляющее устройство состоит из заземлителей и заземляющих проводников.

Заземлитель представляет собой один или несколько металлических соединенных между собой проводников (электродов), находящихся в непосредственном соприкосновении с землей. Заземляющие проводники — металлические проводники, соединяющие заземлитель с заземленными частями электроустановки.

Защитное заземление служит для предохранения от поражения током при прикосновении к металлическим конструктивным частям электроустановок, нормально не находящимся под напряжением, но могущим оказаться под ним вследствие повреждения изоляции. Оно применяется в сетях, работающих с изолированной нейтралью (например, 6 или 10 кВ). Если корпус (кожух) электрооборудования не заземлен, то при нарушении изоляции одной из токоведущих частей между незаземленным корпусом и землей появится напряжение. Следовательно, прикосновение человека к такому корпусу будет так же опасно, как и к неизолированному проводнику одной фазы.

Если корпус заземлен, то при повреждении изоляции одной из фаз через него будет проходить ток I_z , обусловленный малым сопротивлением заземляющего устройства R_z и значительным сопротивлением изоляции двух неповреж-

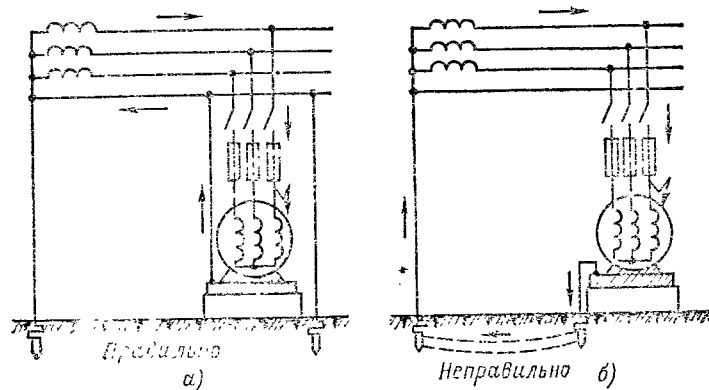


Рис. 25.1. Заземление в электроустановках до 1 кВ с глухозаземленной нейтралью:

а — присоединение к нулевому проводу сети и зануление (правильно); *б* — применение заземляющего устройства (неправильно)

денных фаз. Значение напряжения прикосновения нормируется ГОСТ.

В электроустановках до 1 кВ с глухим заземлением нейтрали источников питания (генераторов, трансформаторов) защитное заземление выполняется путем присоединения неизолированных частей электрооборудования к заземленному нулевому проводу сети. Такая система называется занулением (рис. 25.1).

В этих установках (сетях) при замыкании одной фазы на корпус в результате повреждения изоляции возникает однофазное КЗ (путь тока показан на рис. 25.1), в результате которого поврежденная часть установки (или участок сети) отключается токовой защитой, чем и обеспечивается безопасность прикосновения.

Главой 1.7 ПУЭ установлено, что в помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных электроустановках защитное заземление или зануление обязательно во всех случаях при напряжении переменного тока выше 42 В и постоянного тока выше 110 В. В помещениях без повышенной опасности заземление требуется при напряжении 380 В и выше переменного тока и 440 В и выше постоянного тока.

Заземлению (занулению) подлежат все металлические корпуса электродвигателей, пусковой аппаратуры, электроинструменты, металлические трубы электропроводок, коро-

ба, тютки, металлические оболочки, броня и муфты кабелей, кабельные конструкции, кронштейны и другие металлические элементы крепления электропроводок и т. д. Несмотря на то что жилые дома относятся к помещениям без повышенной опасности, заземлению (занулению) подлежат корпуса кухонных стационарных электроприборов мощностью 1,3 кВт и выше, таких, как посудомоечные, автоматические стиральные машины, а также корпуса щитов, щитков, светильников и стальные трубы, корпуса, тютки электропроводок на лестничных клетках, в технических подпольях и на чердаках. Металлические оболочки и броня кабелей, как правило, должны быть заземлены в начале и конце трассы.

Не подлежат заземлению арматура изоляторов, оттяжки, кронштейны и осветительная арматура при установке их на деревянных опорах, корпуса электроприемников с двойной изоляцией¹, съемные или открывающиеся двери на металлических заземленных шкафах. В жилых комнатах, а также в кухнях и уборных квартир металлические корпуса стационарно установленного осветительного электрооборудования и переносных бытовых электроприборов и машин мощностью до 1,3 кВт (утюги, чайники, холодильники, швейные машины и т. д.) заземлять (занулять) не требуется. В ванных комнатах могут применяться приборы и машины, имеющие двойную изоляцию, которые заземлять (занулять) не требуется. При использовании в ванных комнатах машин и приборов с одинарной изоляцией их металлические корпуса необходимо заземлять (занулять).

Корпуса стальных или чугунных ванн соединяются с помощью стальной полосы с трубами водопровода для выравнивания потенциалов, которые могут появиться на корпусе ванны при повреждении скрытых электропроводок, находящихся в конструкциях зданий.

В четырехпроводных сетях переменного тока с глухозаземленной нейтралью присоединение корпуса электроприемников и других частей электроустановок, подлежащих заземлению, к заземлителю без подключения к нулевому защитному проводу не разрешается, ибо при этом не обеспечивается безопасность людей, поскольку при замыкании на корпус через два последовательных заземления ток однофазного КЗ может оказаться недостаточным для срабатывания защиты.

¹ Двойной называется электрическая изоляция, состоящая из рабочей и дополнительной изоляции.

Сопrotивление заземляющего устройства нейтралей генераторов и трансформаторов должно быть в сетях 380/220 В не более 4 Ом¹. Поскольку заземление на подстанциях является общим и для установок высокого напряжения, то в некоторых случаях, определенных ПУЭ, это сопротивление приходится принимать на основании специального расчета в зависимости от возможного значения тока замыкания на землю в сети высшего напряжения.

55.2. ЗАЗЕМЛЕНИЕ И ЗАНУЛЕНИЕ

Необходимо отметить, что заземление в зданиях и сооружениях является общим как для всех электротехнических установок, так и для устройств автоматики. В качестве заземлителей следует в первую очередь использовать так называемые естественные заземлители. К ним относятся водопроводные и другие металлические трубопроводы без антикоррозионного покрытия, за исключением трубопроводов с горючими жидкостями или горючими и взрывчатыми газами, свинцовые оболочки кабелей, металлические конструкции и арматура железобетонных зданий и сооружений, имеющих соединение с землей, фундаменты, металлические шпунты, обсадные трубы и т. д. Алюминиевые оболочки кабелей и неизолированные алюминиевые проводники использовать в качестве заземлителей не разрешается.

В тех случаях, когда естественные заземлители отсутствуют или их сопротивление превышает требуемое значение, устраиваются искусственные заземлители, состоящие из отрезков угловой стали (размерами 50×50×4 мм) длиной 2,5—3 м, некондиционных стальных труб диаметром 50 мм той же длины с толщиной стенки не менее 3,5 мм, отрезков круглой стали диаметром 12—14 мм, длиной до 5 м и более.

Указанные отрезки (электроды) погружаются в грунт на расстоянии друг от друга примерно 3 м и соединяются между собой стальной полосой размером обычно 40×4 мм. Верхние концы электродов должны быть на глубине 0,6—0,7 м от поверхности. Соединительная полоса прокладывается в траншее глубиной 0,6—0,7 м. Все соединения осуществляются сваркой. Количество электродов зависит от размеров, удельного сопротивления грунта, глубины про-

мерзания и некоторых других факторов и определяется на основании специального расчета.

В качестве заземляющих и нулевых защитных проводников в электроустановках до 1 кВ могут быть использованы металлические конструкции зданий (если обеспечивается надежное соединение звеньев всей цепи), стальные трубы электропроводок, алюминиевые оболочки кабелей, металлические трубопроводы (кроме трубопроводов с горючими и взрывоопасными смесями, канализации, центрального отопления), металлические кожухи шинопроводов, металлические короба и лотки, нулевые рабочие провода электрической сети¹. Не разрешается использовать в качестве заземляющих и нулевых защитных проводников металлические оболочки трубчатых проводов и свинцовые оболочки кабелей (АТПРФ, АСРГ и т. д.).

В электроустановках до 1 кВ с глухим заземлением нейтрали нулевые защитные проводники должны быть выбраны таким образом, чтобы при однофазном замыкании на корпус или на нулевой проводник происходило быстрое отключение защиты дефектного участка. Правила устройства электроустановок требуют, чтобы при этом ток однофазного КЗ в наиболее удаленной точке цепи превышал не менее чем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки ближайшего предохранителя или номинальный ток комбинированного или теплового расцепителя автоматического выключателя.

В воздушных сетях переменного тока зануление осуществляется при помощи нулевого провода, проложенного на тех же опорах линии, что и фазные провода. На концах воздушных линий (или ответвлений) длиной более 200 м, а также на вводах в здания, электроустановки которых подлежат занулению, должны выполняться повторные заземления нулевого провода общим сопротивлением в сетях 380/220 В не более 10 Ом, при этом сопротивление каждого из повторных заземлений должно быть не более 30 Ом.

Для повторного заземления следует в первую очередь использовать естественные заземлители. Повторные заземления повышают условия безопасности, особенно при обрывах нулевого провода. В воздушных линиях длиной до 200 м и кабельных сетях любой длины повторные заземления не

¹ Это сопротивление должно быть обеспечено с учетом использования естественных заземлителей (см. далее). Однако во всех случаях сопротивление искусственного заземлителя должно быть при том же напряжении не более 30 Ом.

¹ Нулевые провода линий запрещается использовать для заземления электрооборудования, питающегося по другим линиям, так как они могут быть отключены для ремонта.

требуются, так как в них обрыв нулевой жилы маловероятен. В жилых домах с электроплитами в квартирах повторные заземления выполняются и при кабельных вводах.

Расчеты заземляющих устройств. Сопротивление, которое оказывает току в земле участок почвы от заземлителя до точек с нулевым потенциалом называют сопротивлением растеканию тока.

Сопротивление растеканию заземлителя определяется как отношение напряжения между заземлителем и точками земли с нулевым потенциалом U_3 , В, к току замыкания I_3 , А:

$$R_3 = U_3 / I_3. \quad (25.1)$$

Поскольку человек практически не может одновременно касаться заземленного корпуса оборудования или заземляющих проводников (их сопротивлением, как незначительным, пренебрегают) и точки на почве с нулевым потенциалом, которая находится на расстоянии около 20 м, то напряжение прикосновения $U_{пр}$ всегда меньше U_3 . Если бы даже такое прикосновение оказалось возможным, то и в этом случае благодаря сопротивлению обуви и одежды напряжение, под которым оказался человек, всегда было бы меньше U_3 :

$$U_{пр} = K_{пр} I_3, \quad (25.2)$$

где $K_{пр}$ — коэффициент прикосновения, имеющий значение меньше единицы.

Между двумя точками поверхности земли на участке растекания тока также имеет место разность потенциалов. Человек, проходя по участку растекания, сделав шаг, условно принятый 0,8 м, попадает под некоторую разность потенциалов, называемую шаговым напряжением ($U_{ш}$). При этом через тело человека (в основном через ноги) протекает ток поражения, который может достигать значений, опасных для человека.

Кривые на рис. 25.2 иллюстрируют растекание тока в земле и показывают значения напряжений прикосновения и шага. Из рис. 25.2 видно, что по мере удаления от заземлителя шаговое напряжение уменьшается. Снижение напряжения прикосновения и шагового напряжения достигается уменьшением сопротивления заземлителя, а следовательно, и тока, протекающего через тело человека. В установках напряжением выше 1 кВ применяются замкнутые контуры заземлителей, состоящие из одного или нескольких рядов стальных стержней, забитых в землю, соединенных на сварке стальной полосой и расположенных в пределах защищаемого

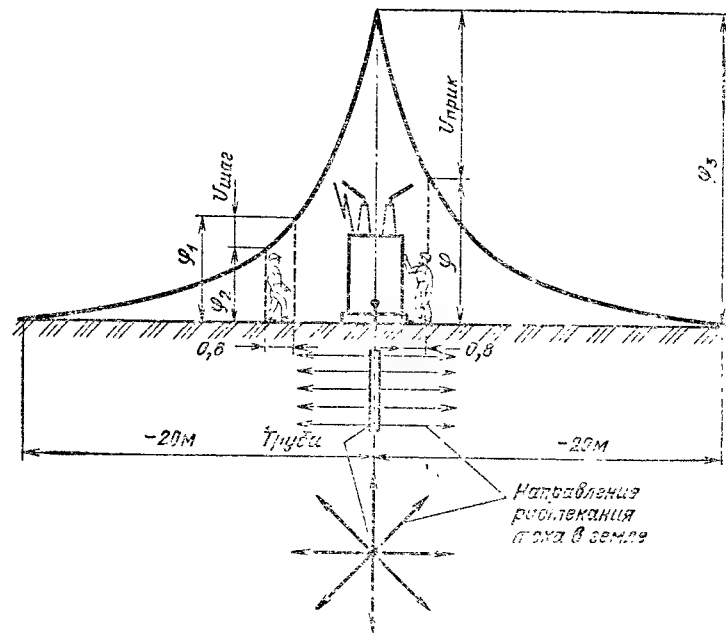


Рис. 25.2. Кривые распределения потенциала в зависимости от расстояния до заземлителя

мого объекта. Таким образом, выравниваются потенциалы смежных точек поверхности. Выше были указаны сопротивления растеканию в электроустановках напряжением до 1 кВ. Здесь отметим требуемые сопротивления растеканию в электроустановках напряжением выше 1 кВ.

Так, в установках с большими токами замыкания на землю (выше 500 А) сопротивление растеканию заземляющего устройства должно быть не более 0,5 Ом. В сетях с малыми токами замыкания на землю (6, 10, 20 кВ) значения сопротивления растеканию должны быть не более:

а) при общем заземляющем устройстве для установок напряжением до 1 кВ и более

$$R_3 \leq \frac{125}{I_3}; \quad (25.3)$$

б) при использовании заземляющего устройства только для установок напряжением выше 1 кВ

$$R_3 < \frac{250}{I_3}, \quad (25.4)$$

где I_3 — расчетный ток однофазного замыкания на землю; R_3 не должно быть больше 10 Ом.

Значения I_3 обычно задаются энергоснабжающими организациями при выдаче технических условий на присоединение к их сетям. Приближенное значение расчетного тока I_3 может быть определено из следующих выражений:

для кабельной сети

$$I_3 = \frac{UI}{10}; \quad (25.5)$$

для воздушной сети

$$I_3 = \frac{UI}{350}, \quad (25.6)$$

где U — напряжение сети, кВ; l — общая длина сети, км.

Как уже было сказано, для заземления используются естественные и искусственные заземлители.

Сопротивление растеканию тока заземлителя в первую очередь зависит от удельного сопротивления грунта ρ , приведенного в табл. 25.1. Наиболее удобно и экономично в качестве естественных заземлителей использовать железобетонные фундаменты и конструкции зданий и сооружений.

Таблица 25.1. Удельные сопротивления грунта

Грунт	Удельное сопротивление ρ , Ом·м	Грунт	Удельное сопротивление ρ , Ом·м
Песок при глубине залегания вод менее 5 м	500	Садовая земля	40
То же 6 и 10 м	1000	Чернозем	50
Супесь водонасыщенная (текучая)	40	Кокс	3
То же влажная (пластинчатая)	150	Гранит	1100
То же слабовлажная (твердая)	300	Каменный уголь	130
Глина пластинчатая	20	Мел	60
То же полутвердая	60	Суглинок влажный	30
		Суглинок	100
		Мергель глинистый	50
		Торф	20
		Известняк пористый	180

Сопротивление растеканию тока железобетонных фундаментов R_ϕ можно определять по формуле, Ом,

$$R_\phi = \rho (0,5/\sqrt{S_\phi}), \quad (25.7)$$

где ρ — удельное электрическое сопротивление грунта, Ом·м; S_ϕ — площадь, ограниченная периметром здания на уровне дневной поверхности земли, м².

Стальные водопроводные трубы без антикоррозийного покрытия со сварными стыками и свинцовые оболочки кабелей (если они имеются) тоже следует использовать в качестве естественных заземлителей. Кабели с алюминиевой оболочкой использовать в качестве заземлителя не разрешается.

Для предварительных расчетов можно пользоваться данными о сопротивлении растеканию водопроводных труб, приведенные в табл. 25.2 для $\rho=100$ Ом·м и в табл. 25.3 для кабелей.

Таблица 25.2. Сопротивление растеканию тока металлических трубопроводов, проложенных на глубине 2 м при $\rho=100$ Ом·м

Длина подземного участка, м	Сопротивление растеканию, Ом, при диаметре труб, мм		
	60	100	150
100	0,35	0,28	0,23
500	0,29	0,24	0,19
1000	0,25	0,2	0,17
2000	0,2	0,17	0,15

Таблица 25.3. Сопротивление растеканию тока свинцовых оболочек кабелей при $\rho=100$ Ом·м, проложенных на глубине 0,7 м

Длина подземного участка	Сопротивление растеканию, Ом, при сечении к. б. в мм ²		
	16—35	50—95	120 и выше
50	2,1	1,6	1,2
100	2	1,5	1,1
200	1,8	1,4	1
500	1,4	1,1	0,8
1000	1,2	0,9	0,7

Значения удельного сопротивления, принятые по табл. 25.1, необходимо умножать на коэффициент сезонности (промерзания и увлажнения), приведенный в табл. 25.4 и зависящий от климатической зоны, где сооружается объект. Москва и Ленинград относятся к зоне II.

Если оболочки кабелей являются единственным зазем-

Таблица 25.4. Значения коэффициентов сезонности

Климатическая зона	Коэффициент сезонности для заземлителя		Климатическая зона	Коэффициент сезонности для заземлителя	
	протяженного K_{Π}	стержневого K_{σ}		протяженного K_{Π}	стержневого K_{σ}
I	7	2	III	2	1,4
II	4	1,7	IV	1,5	1,2

лителем и в траншее проложено несколько кабелей (их должно быть не менее двух), то общее сопротивление растеканию с учетом их взаимного экранирования:

$$R_{\Sigma, \kappa} = \frac{R_{0, \kappa}}{n_{\kappa}}, \quad (25.8)$$

где $R_{0, \kappa}$ — сопротивление растеканию тока оболочки одного кабеля; n_{κ} — число кабелей в одной траншее.

В тех случаях, когда сопротивление растеканию естественных заземлителей превышает требуемое ПУЭ, необходимо создать дополнительно искусственное заземление с сопротивлением, равным:

$$R_{\text{иск}, \Sigma} \leq \frac{R_{\text{ест}, \Sigma} R_{\Sigma, \Pi}}{R_{\text{ест}, \Sigma} - R_{\Sigma, \Pi}}, \quad (25.9)$$

где $R_{\Sigma, \Pi}$ — значение нормируемого сопротивления растеканию, Ом.

В тех случаях, когда элементы заземления погружаются в грунт ниже глубины промерзания, коэффициент сезонности не вводится и ρ принимается по табл. 25.1 без изменений.

Сопротивление растеканию тока незаизолированного стального трубопровода $R_{\text{ст}, \text{тр}}$ можно (наряду с показателями табл. 25.2) определять по формуле

$$R_{\text{ст}, \text{тр}} = \frac{0,16\rho}{l} \ln \frac{l^2}{hd}. \quad (25.10)$$

Сопротивление обсадной трубы $R_{0, \sigma}$ скважины равно

$$R_{0, \sigma} = \frac{0,16\rho}{l} \ln \frac{4l}{d}, \quad (25.11)$$

где l — длина трубы, м, но не более 200 м; h — глубина заложения трубы от поверхности земли, м; d — диаметр трубы, м.

Таблица 25.5. Сопротивления одиночных заземлителей, Ом

Вид заземлителя	Расчетная формула
Вертикальный электрод из круглой стали или трубы	$R = \frac{0,16\rho}{l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right)$
Вертикальный электрод из угловой стали	$R = \frac{0,16\rho}{l} \left(\ln \frac{2l}{0,95b} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right)$
Горизонтальный электрод из полосовой стали	$R = \frac{0,16\rho}{l} \ln \frac{2l^2}{hb}$
Горизонтальный электрод из круглой стали	$R = \frac{0,16\rho}{l} \ln \frac{2l^2}{hd}$

Примечание. Условные обозначения: l — длина электрода, м; d — внешний диаметр электрода, м; h — глубина заложения от поверхности земли (для вертикального электрода — расстояние от поверхности земли до середины электрода), м; b — ширина полосового электрода (для угловой стали — ширина полки), м.

Формулы для определения сопротивления растеканию одиночных заземлителей (электродов) приведены в табл. 25.5.

Искусственные заземлители, как правило, устраиваются из нескольких электродов (иногда из довольно значительного их количества), соединенных стальной полосой. В этом случае приходится учитывать влияние взаимноекранирования стержневых и протяженных заземлителей, которые как бы повышают сопротивление растеканию тока. Это обстоятельство учитывается введением в расчетные формулы коэффициентов использования, зависящих от количества стержневых электродов и их расположения.

Задавшись предварительной длиной протяженного заземлителя, определяют его сопротивление:

$$R_{\Pi} = \frac{R'_{\Pi}}{\eta_{\Pi}}. \quad (25.12)$$

Далее определяется требуемое общее сопротивление $R_{\text{ст}}$ вертикальных электродов (стержней):

$$R_{\text{ст}} = \frac{R_{\Pi} R_{\text{иск}, \Sigma}}{R_{\Pi} - R_{\text{иск}, \Sigma}}. \quad (25.13)$$

Затем определяется необходимое количество стержней:

$$n_{ст} = \frac{R_{сг}}{R_{с,о} \eta_{ст}}, \quad (25.11)$$

где $n_{ст}$ — количество стержней; $R_{с,о}$ — сопротивление одиночного электрода; $\eta_{ст}$, $\eta_{п}$ — коэффициенты использования стержневых и протяженных заземлителей (табл. 25.6 и 25.7).

Таблица 25.6. Коэффициенты использования стержневых и протяженных заземлителей при их размещении в ряд

Количество стержней	Отношение расстояния между стержнями к их длине					
	1		2		3	
	$\eta_{сг}$	$\eta_{п}$	$\eta_{сг}$	$\eta_{п}$	$\eta_{сг}$	$\eta_{п}$
3	0,78	0,8	0,86	0,92	0,91	0,95
4	0,74	0,77	0,83	0,89	0,88	0,92
5	0,7	0,74	0,81	0,86	0,87	0,9
6	0,63	0,71	0,77	0,83	0,83	0,88
10	0,59	0,62	0,75	0,75	0,81	0,82
15	0,54	0,5	0,7	0,64	0,78	0,74
20	0,49	0,42	0,68	0,56	0,77	0,68
30	0,43	0,31	0,65	0,46	0,75	0,58

Примечание. При увеличении расстояния между стержнями коэффициенты использования возрастают, что объясняется уменьшением взаимозащиты.

Таблица 25.7. Коэффициенты использования стержневых и протяженных заземлителей при размещении их по периметру замкнутого контура

Количество стержней	Отношение расстояния между стержнями к их длине					
	1		2		3	
	$\eta_{сг}$	$\eta_{п}$	$\eta_{сг}$	$\eta_{п}$	$\eta_{сг}$	$\eta_{п}$
4	0,69	0,45	0,78	0,55	0,85	0,7
6	0,62	0,40	0,73	0,48	0,8	0,64
7	0,58	0,36	0,71	0,43	0,78	0,6
10	0,55	0,34	0,69	0,4	0,76	0,56
20	0,47	0,27	0,64	0,32	0,71	0,45
30	0,43	0,24	0,6	0,3	0,68	0,41
50	0,4	0,21	0,56	0,28	0,66	0,37
70	0,38	0,2	0,54	0,25	0,64	0,35
100	0,35	0,19	0,52	0,24	0,62	0,33

Если число стержней сильно отличается от принятого предварительно, то расчет следует повторить.

Глубинные заземлители. В реальных условиях земля имеет многослойное строение, однако для практических расчетов достаточно представить грунт в виде двухслойной структуры. Во многих случаях удельное сопротивление нижнего слоя ρ_2 меньше ρ_1 верхнего слоя, поэтому целесообразно использовать заглубленные (5—10 м) и глубинные (свыше 10 м) заземлители, что обеспечивает существенную экономию средств. Сопротивление растеканию $R_{г,з}$ такого вертикального заземлителя, Ом, можно определять по формуле

$$R_{г,з} = \frac{0,16}{\frac{h}{\rho_1} + (l-h) \frac{1}{\rho_2}} \ln \frac{4l}{d}, \quad (25.15)$$

где h — глубина верхнего слоя, м; l — длина заземлителя, м; d — диаметр заземлителя, м.

Устройство такого заземлителя осуществляется при помощи бурового станка.

Таблица 25.8. Наименьшие размеры заземляющих и нулевых защитных проводников

Наименование	Медь	Алюминий	Сталь		
			в зданиях	в наружных установках	в земле
Неизолированные проводники:					
сечение, мм ²	4	6	—	—	—
диаметр, мм	—	—	5	6	10
Изолированные провода сечением, мм ²	1,5*	2,5	—	—	—
Заземляющие и нулевые жилы кабелей и многожильных проводов в общей защитной оболочке с фазными жилами сечением, мм ²	1	2,5	—	—	—
Угловая сталь, толщина полки, мм	—	—	2	2,5	4
Полосовая сталь:					
сечение, мм ²	—	—	24	48	48
толщина, мм	—	—	3	4	4
Водогазопроводные трубы (стальные), толщина стенки, мм	—	—	2,5	2,5	4
Тонкостенные трубы (стальные), толщина стенки, мм	—	—	1,5	2,5	Не допускаются

* При прокладке изолированных проводов в трубах допускается сечение 1 мм², если фазные провода имеют то же сечение.

В некоторых сложных случаях при весьма больших значениях ρ прибегают к искусственному снижению сопротивления растеканию при помощи специальных электролитов, которыми пропитывается грунт вокруг заземлителя.

Эти вопросы изложены в специальной технической литературе.

Зануление. Система зануления должна прежде всего обеспечить быстрое отключение электроустановки при однофазном замыкании в наиболее удаленном участке электрической цепи. Для этой цели должен быть выполнен расчет тока однофазного КЗ. Методика расчета приведена в § 15.5.

В целях обеспечения надежности и механической прочности устройств заземления и зануления ПУЭ установлены наименьшие размеры заземляющих и нулевых защитных проводников, приведенные в табл. 25.8.

25.3. ЗАЩИТНОЕ ОТКЛЮЧЕНИЕ И РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ТРАНСФОРМАТОРЫ

Защитное заземление и зануление не всегда обеспечивают необходимые условия безопасности людей, соприкасающихся с электроустановками, так как даже при токе однофазного КЗ, превышающем в 3 раза номинальный ток плавкой вставки предохранителя или расцепителя автоматического выключателя, срабатывание защиты происходит с некоторой выдержкой времени (иногда в несколько минут). В этих случаях целесообразно, особенно в помещениях с повышенной опасностью, дополнительно к занулению применять защитное отключение.

Аппараты защитного отключения представляют собой автоматические выключатели, снабженные устройствами, реагирующими на ток утечки. Основной частью устройства защитного отключения является дифференциальный трансформатор тока, первичной обмоткой которого служат провода защищаемой сети. Ко вторичной обмотке присоединяется схема, непосредственно воздействующая на механизм отключения выключателя.

Существует большое разнообразие видов устройств защитного отключения. Наиболее совершенными являются устройства высокой чувствительности, реагирующие не только на глухое, но и на неполное замыкание на землю. Такие устройства при правильно выбранных уставках токов утечки (около 30 мА) обладают большим быстродействием и за-

щищают человека даже при однополюсном прикосновении к токоведущим частям.

Функции устройств защитного отключения сводятся к следующему: а) защита от глухого замыкания на землю; б) защита от неполного замыкания на землю; в) автоматический постоянный контроль состояния изоляции сети и цепей заземления (зануления); г) самоконтроль.

Наиболее простые аппараты защитного отключения срабатывают при замыкании на землю с временем отключения 0,1—0,2 с и обеспечивают безопасность только при прикосновении к заземленным нетокведущим частям, оказавшимся под напряжением.

Действие устройств защитного отключения основано на том, что через дифференциальный трансформатор тока пропускают все провода защищаемой линии, включая нулевой провод, благодаря чему геометрическая сумма токов равна нулю даже при несимметричной нагрузке фаз. При таком равновесии токов устройство не срабатывает. При замыкании одной фазы на корпус возникает ток утечки, не проходящий через дифференциальный трансформатор тока. Возникший при этом в дифференциальном трансформаторе ток небаланса вызывает срабатывание устройства защитного отключения.

Уставка на ток утечки должна быть больше естественных токов утечки электроприемников, присоединяемых к защищаемой сети, в противном случае могут возникать ложные отключения. Вместе с тем загромождение уставок токов утечки снижает надежность защиты от поражения электрическим током.

Применение разделительных трансформаторов. Понижающие трансформаторы со вторичным напряжением не более 42 В и заземленной вторичной обмоткой не обеспечивают требуемой безопасности в случае нарушения изоляции между обмотками. В этом случае во вторичную цепь переходит напряжение первичной цепи и человек может оказаться под потенциалом, опасным для жизни.

Этого недостатка можно избежать, применяя так называемые разделительные трансформаторы. Эти трансформаторы имеют повышенную изоляцию, благодаря чему в значительной степени снижается возможность перехода напряжения первичной обмотки во вторичную. Разделительные трансформаторы не обязательно должны быть понижающими, однако вторичное напряжение не должно быть больше 380 В.

Стремление к созданию наибольших удобств привело

к установке в ванных комнатах квартир, гостиных и общих жилых помещений розеток для включения в них некоторых бытовых электроприемников, потребляющих небольшую мощность. К таким электроприемникам относятся электрообогреватели, вибрационные приборы для массажа и т. п. Однако установка штепсельной розетки в ванной комнате с присоединением ее непосредственно к сети квартиры представляет безусловную опасность для людей и ПУЭ запрещена. Дело в том, что в условиях ванной комнаты (обычно крайне тесное помещение, в котором имеются заземленные металлические части — краны, трубы, ванна и т. п.), неисправность изоляции электроприемника или штепсельной розетки может привести к тяжелым травмам. Штепсельная розетка в ванной комнате должна включаться только через разделительный трансформатор, благодаря чему бытовой электроприемник изолируется от общей сети квартиры, т. е. исключаются условия, вызывающие повышенную опасность.

Вторичную обмотку разделительного трансформатора и электроприемник, подключенный к нему, заземлять запрещено.

При отсутствии заземления прикосновение к частям, находящимся под напряжением, или к корпусу с поврежденной изоляцией не создает опасности, так как вторичная сеть разделительного трансформатора коротка и токи утечки в ней при исправной изоляции невелики. Если при этом возникает повреждение изоляции и на другой фазе вторичной цепи (двойное замыкание), то на корпусе электроприемника появится напряжение по отношению к земле, что в неблагоприятных случаях (например, проводящий пол в ванной комнате) может оказаться опасным. Чтобы уменьшить вероятность появления двойных замыканий, к разделительному трансформатору не следует присоединять более одной розетки. Кроме того, сами разделительные трансформаторы должны иметь высокий уровень изоляции, что достигается специальным исполнением.

Глава двадцать шестая

МОЛНИЕЗАЩИТА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

26.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Защита зданий и сооружений от поражения молнией предназначена для полного или частичного исключения последствий попадания молнии в защищаемый объект.

При разряде молнии в здание или сооружение импульсный ток достигает 50 кА и более и вызывает огромные выделения теплоты. При этом строительные конструкции, по которым протекает ток разряда, нагреваются до очень высоких температур, вплоть до их разрушения или загорания.

Кроме теплового, ток разряда, несмотря на его кратковременность (микросекунды) оказывает электростатическое и электромагнитное воздействие на различные металлические элементы зданий и сооружений, прежде всего на инженерные коммуникации. Таким образом, молния очень опасна не только для самого здания, но и для людей, находящихся в здании или поблизости.

Здания и сооружения или их части в зависимости от назначения, интенсивности грозовой деятельности в районе их местонахождения, а также от ожидаемого количества поражений молнией в год должны быть защищены в соответствии с категориями устройства и типом зоны защиты, указанным в табл. 26.1 (выписка из строительных норм СН 305-77 «Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты зданий и сооружений»).

Среднегодовая грозовая деятельность определяется по специальной карте, приведенной в вышеупомянутой Инструкции. Ожидаемое количество поражений молнией в год N определяется по формуле

$$N = (S + 6h)(L + 6h)n \cdot 10^{-6}, \quad (26.1)$$

где S и L — соответственно ширина и длина защищаемого здания, имеющего прямоугольную форму в плане, м; h — наибольшая высота здания (сооружения), м; n — среднее годовое число ударов молнии в 1 км² земной поверхности в месте расположения здания.

Значения n при разной интенсивности грозовой деятельности приведены ниже:

Интенсивность грозовой деятельности, ч/год	10—20	20—40	40—60	60—80	80 и более
Среднегодовое количество ударов молнии в 1 км ² земной поверхности n	1	3	6	9	12

Для зданий сложной конфигурации при расчете N в качестве S и L рассматриваются ширина и длина наименьшего прямоугольника, в который может быть вписано здание в плане.

Таблица 26.1. Типы зон защиты от поражения зданий и сооружений молнией

Этап	Здания и сооружения	Местонахождение	Тип зоны защиты	Категория устроятности
1	Здания и сооружения в их части с производством, помещения в которых по ПУЭ относятся к классам В-I и В-II (взрывоопасные)	По всей территории	Зона А	I
2	То же при В-Ia, В-Ib, В-IIa	В местностях со средней грозовой деятельностью 10 ч/год и более	При ожидаемом количестве поражений молнией в год здания или сооружения: $N \leq 1$ зона Б, при $N > 1$ зона А	II
3	Здания и сооружения с производствами, помещения которых по ПУЭ относятся к классам II-I, II-II и II-IIa (пожароопасные)	В местностях со средней грозовой деятельностью 20 ч/год и более	Для зданий и сооружений I и II степени огнестойкости $0,1 < N \leq 2$ и для степени огнестойкости III, IV, V при $0,02 < N \leq 2$ зона Б, при $N > 2$ зона А	III
4	Животноводческие и птицеводческие здания и сооружения III, IV и V степени огнестойкости: для крупного рогатого скота и свиней на 100 голов и более, для лошадей на 40 голов и более, для овец на 500 голов и более, для птицы на 1000 голов и более	В местностях со средней грозовой деятельностью 40 ч/год и более	Зона Б	III
5	Здания и сооружения III, IV и V степени огнестойкости, в которых отсутствуют производственные помещения, относящиеся по ПУЭ к классам В-I, В-II и В-IIa	В местностях со средней грозовой деятельностью 20 ч/год и более	При ожидаемом количестве поражений молнией в год: $0,1 < N \leq 2$ зона Б, при $N > 2$ зона А	III
6	Жилые и общественные здания, возвышающиеся более чем на 25 м над средней высотой окружающих зданий в радиусе 400 м, а также отдельно стоящие здания высотой более 30 м, удаленные от других зданий более чем на 400 м	В местностях со средней грозовой деятельностью 20 ч/год и более	Зона Б	III
7	Отдельно стоящие жилые и общественные здания в сельской местности высотой более 30 м	То же	То же	III
8	Общественные здания III, IV и V степени огнестойкости следующего назначения: детские сады и ясли, школы и школы-интернаты, спальные корпуса и столовые санаториев, домов отдыха и пионерских лагерей, лечебные корпуса больниц, клубы, кинотеатры	То же	То же	III
9	Здания и сооружения, являющиеся памятниками истории и культуры	В местностях со средней грозовой деятельностью 10 ч/год и более	То же	III

В зависимости от степени взрывоопасности, характера воздействия молнии, значимости и технологических особенностей объекта все здания и сооружения разделяются на три категории:

к I категории относятся здания и сооружения, относимые ПУЭ к классам В-I и В-II. Взрыв в таких помещениях под воздействием молнии, как правило, приводит к значительным разрушениям и человеческим жертвам;

ко II категории относятся здания и сооружения класса В-Iа, В-Iб, В-IIа. Взрыв в таких помещениях сопровождается, как правило, лишь незначительными разрушениями без человеческих жертв;

остальные здания и сооружения, которые оборудуются средствами молниезащиты, указанными в строительных нормах, относятся к III категории.

26.2. СПОСОБЫ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

Здания и сооружения, отнесенные к I и II категориям, должны быть защищены от прямых ударов молнии, а также от электростатической и электромагнитной индукции и от заноса высоких потенциалов через наземные и подземные металлические коммуникации.

Здания и сооружения, отнесенные к III категории, должны быть защищены от прямых ударов молнии и заноса высоких потенциалов через наземные и подземные металлические коммуникации.

В процессе строительства зданий важное значение имеет устройство временной системы молниезащиты, если здание

строится в грозовой период. Такое устройство выполняется с высоты 20 м и более. При этом в качестве токоотвода используются любые металлические конструкции (лестницы, водосточные трубы и т. д.) при условии надежности их соединений, в том числе болтовых при сопротивлении переходного контакта не более 0,05 Ом.

Рис. 26.1. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 150 м

Зона защиты молниеотвода — это часть пространства, внутри которого здание или сооружение защищено от прямых ударов молнии с определенной степенью надежности. Зона защиты типа А обладает степенью надежности 99,5 % и выше, а типа Б — 95 % и выше. На рис. 26.1 показана зона защиты одиночного стержневого молниеотвода высотой до 150 м. Для определения габаритов молниеотвода можно пользоваться следующими выражениями.

Зона А:

$$h_0 = 0,85h; \quad (26.2)$$

$$r_0 = (1,1 - 0,002h)h; \quad (26.3)$$

$$r_x = (1,1 - 0,002h)\left(h - \frac{h_x}{0,85}\right). \quad (26.4)$$

Зона Б:

$$h_0 = 0,92h; \quad (26.5)$$

$$r_0 = 1,5h; \quad (26.6)$$

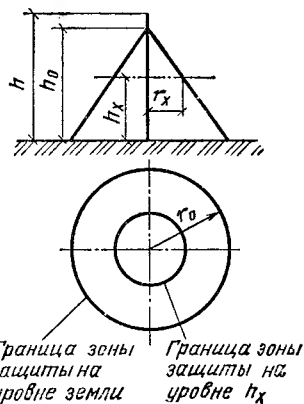
$$r_x = 1,5\left(h - \frac{h_x}{0,92}\right). \quad (26.7)$$

Для зоны Б высота одиночного стержневого молниеотвода, если известны h_x и r_x , может быть определена по формуле

$$h = \frac{r_x + 1,63h_x}{1,5}. \quad (26.8)$$

Здесь приведены данные для наиболее распространенного типа молниеотвода, применяемого в сельской местности. Для других типов молниеотводов расчет может выполняться по вышеупомянутой Инструкции.

Для городских зданий, обычно высотных, применяются молниеприемные сетки, налагаемые на кровлю, которые выполняются из стальной проволоки диаметром 6—8 мм с ячейкой для зданий II категории 6×8 м, а для здания III категории 12×12 м. Узлы сетки соединяются сваркой. Металлические элементы здания или сооружения, расположенные на крыше, должны быть соединены с сеткой. Спуски к заземлителю выполняются через каждые 25 м по периметру здания. Если кровля здания металлическая, то она может служить молниеприемником и сетка уже не нужна. Части здания, возвышающиеся над кровлей, оборудуются дополнительными молниеприемниками, присоединяемыми к сетке.



СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Введение	5
РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ. ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ БЫТА И ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКИ	9
Глава первая. Электроприемники жилых и общественных зданий	9
1.1 Электроприемники жилых зданий	9
1.2 Электроприемники общественных зданий	26
Глава вторая. Развитие электрификации быта в СССР	37
2.1 Методика прогнозирования	37
2.2 Напряжение квартир бытовыми электроприемниками	40
2.3 Уровни электропотребления	42
2.4 Развитие коммунально-бытового электропотребления	45
РАЗДЕЛ ВТОРОЙ. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ	51
Глава третья. Определение электрических нагрузок жилых зданий	51
3.1 Постановка вопроса	51
3.2 Исследование и формирование электрических нагрузок жилых зданий	55
3.3 Нормирование электрических нагрузок и их прогнозирование	62
3.4 Оценка асимметрии нагрузок	64
3.5 Расчеты электрических нагрузок	69
3.6 Зависимость между расчетной нагрузкой, электропотреблением и годовым числом часов использования максимума нагрузки	72
Глава четвертая. Определение электрических нагрузок общественных зданий	75
4.1. Общие положения	75

4.2 Нагрузки осветительных сетей	76
4.3 Нагрузки силовых сетей	78
4.4 Коэффициенты, учитывающие несовпадение максимумов силовых и осветительных нагрузок и общих нагрузок зданий, подключаемых к одному ГП	90
Глава пятая. Графики нагрузок	98
РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ. ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ	105
Глава шестая. Построение схем электроснабжения	105
6.1 Надежность электроснабжения	105
6.2 Городские электрические сети	112
6.3 Трансформаторные подстанции	120
6.4 Электроснабжение зданий	125
6.5 Классификация сетей	127
Глава седьмая. Схемы распределения электроэнергии в жилых зданиях	131
7.1 Схемы наружных (внутриквартальных) питающих линий	131
7.2 Размещение трансформаторных подстанций	136
7.3 Схемы вводно-распределительных устройств	136
7.4 Схемы питающих линий внутри зданий	139
7.5 Схемы групповой квартирной сети	141
7.6 Типовые комплексные схемы распределения электроэнергии в жилых зданиях	143
Глава восьмая. Схемы распределения электроэнергии в общественных зданиях	147
8.1 Особенности электроснабжения	147
8.2 Питающие сети	149
8.3 Силовые распределительные сети	150
8.4 Групповые осветительные сети	151
8.5 Примеры комплексных схем распределения электроэнергии в общественных зданиях	151
РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ. РАСЧЕТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ	158
Глава девятая. Основные положения, нагревание проводников	158
9.1 Задачи расчета электрической сети	158
9.2 Нагревание проводников	159
9.3 Длительно допустимые нагрузки проводников	162
9.4 Старение изоляции	168
Глава десятая. Защита электрической сети	171
10.1. Виды защиты электрической сети	171

10.2. Аппараты защиты	173
10.3. Выбор и размещение аппаратов защиты	186
Глава одиннадцатая. Расчет электрических сетей по отклонениям и потерям напряжения	192
11.1. Отклонения напряжения	192
11.2. Регулирование напряжения	193
11.3. Допустимая (располагаемая) потеря напряжения	195
11.4. Активное и индуктивное сопротивление проводов	197
11.5. Определение потери напряжения с учетом активного и индуктивного сопротивлений проводов	198
11.6. Определение потери напряжения без учета индуктивного сопротивления проводов	201
11.7. Расчет сети по потерям напряжения при неравномерной нагрузке фаз	203
11.8. Расчет проводов по наименьшему расходу цветного металла	205
11.9. Расчет простой замкнутой сети	206
11.10. Особенности трехфазных четырехпроводных сетей освещения с газоразрядными лампами	207
Глава двенадцатая. Расчет сетей по условиям пуска короткозамкнутых электродвигателей	214
Глава тринадцатая. Определение потерь мощности и энергии	222
13.1. Определение потерь мощности и электроэнергии в неразветвленной сети	222
13.2. Определение потерь мощности и электроэнергии в разветвленной сети жилого здания	226
13.3. Определение потерь мощности и электроэнергии в осветительных сетях общественных зданий	231
Глава четырнадцатая. Выбор сечений проводников по механической прочности	232
Глава пятнадцатая. Упрощенные методы расчета токов короткого замыкания в сетях до 1 кВ	234
15.1. Определение и расчет токов короткого замыкания	234
15.2. Особенности расчета токов короткого замыкания в установках до 1 кВ	236
15.3. Упрощенное определение тока трехфазного короткого замыкания	238
15.4. Выбор электрических аппаратов и проводников по условиям короткого замыкания	241
15.5. Упрощенное определение токов однофазного короткого замыкания	243
15.6. Термическая стойкость кабелей на напряжение до 1 кВ с пластмассовой изоляцией	247

Глава шестнадцатая. Техничко-экономические расчеты	248
16.1. Методология технико-экономического сравнения вариантов	248
16.2. Выбор оптимальных схем питающих и групповых электросетей жилых зданий	250
16.3. Элементы технико-экономических расчетов электроустановок общественных зданий	255
16.4. Общая оценка затрат на электроэнергию и средств, расходуемых на компенсацию потерь электроэнергии	259

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Глава семнадцатая. Комплектные устройства	266
17.1. Вводно-распределительные устройства	266
17.2. Распределительные пункты и щитки	270
Глава восемнадцатая. Электропроводки	275
18.1. Установочные провода	275
18.2. Кабели для внутренних электросетей	278
18.3. Прокладка питающих и распределительных сетей	279
18.4. Электроустановочные устройства и электромонтажные изделия	295

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ. АВТОМАТИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Глава девятнадцатая. Основные виды автоматизации	298
Глава двадцатая. Автоматизация освещения	302
20.1. Задачи управления освещением	302
20.2. Управление освещением в жилых зданиях	302
20.3. Управление освещением в общественных зданиях	307

Глава двадцать первая. Автоматизация систем водоснабжения и отопления	309
21.1. Автоматизация хозяйственных насосов	309
21.2. Автоматизация пожарных насосов	312
21.3. Автоматизация системы горячего водоснабжения	312
21.4. Автоматизация систем отопления	314

Глава двадцать вторая. Автоматизация систем дымозащиты	315
---	-----

Глава двадцать третья. Диспетчеризация инженерного оборудования	323
--	-----

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ. ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ	328
Глава двадцать четвертая. Общие сведения по электробезопасности	328
24.1. Условия поражения человека электрическим током	328
24.2. Общие меры безопасности	333
Глава двадцать пятая. Заземление, зануление и защитное отключение	335
25.1. Общие положения	335
25.2. Заземление и зануление	338
25.3. Защитное отключение и разделительные трансформаторы	343
Глава двадцать шестая. Молниезащита зданий и сооружений	350
26.1. Основные положения	350
26.2. Способы молниезащиты	354
26.3. Заземлители и защита от заноса высоких потенциалов	356
РАЗДЕЛ ВОСЬМОЙ. СЕТИ И УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОСВЯЗИ	357
Глава двадцать седьмая. Городские телефонные сети	357
27.1. Общие сведения	357
27.2. Системы построения городских телефонных сетей	359
27.3. Марки телефонных кабелей абонентских линий и условия их прокладки	364
27.4. Расчет емкости и построение распределительной сети шкафов района	368
Глава двадцать восьмая. Сети проводного вещания	373
28.1. Классификация и основные определения	373
28.2. Городские сети проводного вещания	375
28.3. Сельские сети проводного вещания	379
28.4. Основные материалы и линейное оборудование	380
28.5. Расчет затухания сетей проводного вещания	387
Глава двадцать девятая. Крупные системы коллективного приема телевидения (КСКПТ)	394
29.1. Общие сведения	395
29.2. Технические характеристики оборудования и материалов, рекомендуемых к применению в КСКПТ и СКТВ	397
29.3. Расчет КСКПТ и расчетная схема	415
Глава тридцатая. Сети электросвязи жилых зданий	434
30.1. Общие положения	434
30.2. Сеть городской телефонной связи	435
30.3. Городская радиотрансляционная сеть	438
30.4. Сети КСКПТ	438

Глава тридцать первая. Сети и системы электросвязи и классификации общественных зданий	434
31.1. Основные виды электросвязи	434
31.2. Сети и системы ГТС и АХС	439
31.3. Оперативная телефонная связь	441
31.4. Сеть городского проводного вещания (ГПВ) и КСКПТ	443
31.5. Радиоузлы местного вещания, оповещения и систем озвучивания	447
31.6. Электрочасовые системы	450
31.7. Сети КСКПТ	455

РАЗДЕЛ ДЕВЯТЫЙ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Глава тридцать вторая. Эксплуатация электрооборудования жилых зданий	457
Глава тридцать третья. Эксплуатация электрооборудования общественных зданий	463
33.1. Эксплуатация осветительных установок	463
33.2. Основные положения по эксплуатации силового электрооборудования	467
Список литературы	471